



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

**ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY**

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

**NÁVRH PRACOVNÍSTĚ S PRŮMYSLOVÝM ROBOTEM PRO  
ZAKLÁDÁNÍ OBJEKTŮ DO SOUSTRUHU**

DESIGN OF A ROBOTIC CELL FOR OBJECT PLACEMENT INTO A LATHE

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

**Bc. Marie Baláková**

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

**Ing. Aleš Pochylý**

**BRNO 2017**

# Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky  
Studentka: **Bc. Marie Baláková**  
Studijní program: Strojní inženýrství  
Studijní obor: Výrobní stroje, systémy a roboty  
Vedoucí práce: **Ing. Aleš Pochylý**  
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

## **Návrh pracoviště s průmyslovým robotem pro zakládání objektů do soustruhu**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Cílem práce je návrh koncepce pracoviště s průmyslovým robotem pro aplikaci typu zakládání objektů do soustruhu. Práce se zabývá výběrem hlavních komponent a jejich umístění – návrh layoutu pracoviště, návrhem uchopovacího systému a návrhem zabezpečení pracoviště – ochrany obsluhy.

### **Cíle diplomové práce:**

1. Návrh koncepce pracoviště pro daný typ aplikace.
2. Návrh uchopovacího systému pro daný objekt.
3. Integrace dílčích systémů pracoviště, resp. vytvoření modelu pracovní buňky včetně řešení bezpečnosti.

### **Seznam doporučené literatury:**

SICILIANO, B. KHATIB, O. Springer Handbook of Robotics. Springer-Verlag New York, Inc., 2008. 1611 s. ISBN 978-3-540-23957-4

PIRES, J. N. Industrial Robots Programming: Building Applications for the Factories of the Future. Springer, 2008. 282 s. ISBN 978-0-387-23325-3

NOF, S. Y. Springer Handbook of Automation. Springer, 2009. 1812 s. ISBN 978-3-540-78830-0

MONKMAN, G. J., HESSE, S., STEINMANN, R. SCHUNK, H. Robot Grippers. Wiley-VCH Verlag, 2007. 463 s. ISBN 978-3527406197

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá návrhem koncepce pracoviště sloužícího pro obrobení polotovaru čepu využívaného v automobilovém průmyslu. Pracoviště se skládá z jednoúčelového stroje, vstupního a výstupního skluzu a robotické manipulace, součástí práce je návrh layoutu. Dále je práce zaměřena na konkrétní návrh jednoúčelového stroje a detailněji je řešen koncový efektor 6tiosého robotu, který má uchopovací funkci.

## **ABSTRACT**

This diploma thesis deals with the design of a workplace concept for the purpose of machining semifinished bolts used in automotive industry. The workplace includes a special purpose machine, input and output slip and robotic handling. Layout of the workplace is also part of the work. Further, the work is focused on the specific design of the special purpose machine and the 6th-axis robot gripping end effector is more detailed.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

robotizované pracoviště, jednoúčelový stroj, manipulační koncový efektor

## **KEYWORDS**

robotic work cell, special purpose machine, handling end effector



## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

BALÁKOVÁ, M. *Návrh pracoviště s průmyslovým robotem pro zakládání objektů do soustruhu*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2016, 73 s., Vedoucí diplomové práce Ing. Aleš Pochylý



## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto Ing. Aleši Pochylému za dobré rady a vstřícnost při konzultacích diplomové práce. Dále děkuji kolektivu firmy Balák, především svému otci, Pavlu Balákovi, za pomoc při tvorbě práce. Také děkuji rodině a příteli za podporu.





## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Aleše Pochylého a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 28

.....  
Marie Baláková



# OBSAH

<b>1</b>	<b>ÚVOD .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>MOTIVACE.....</b>	<b>13</b>
<b>3</b>	<b>ZADÁNÍ .....</b>	<b>15</b>
3.1	Obrobek .....	15
3.2	Rozměry pracoviště .....	15
3.3	Produkce .....	17
<b>4</b>	<b>NÁVRH PRACOVIŠTĚ .....</b>	<b>18</b>
4.1	Vstupní skluz .....	18
4.2	Výstupní skluz .....	19
4.3	Soustružicí stroj .....	19
4.3.1	Vřetena.....	20
4.3.2	Nástrojové hlavy.....	20
4.3.3	Posuvová lineární soustava.....	21
4.4	Robot.....	22
4.4.1	Funkce robotu .....	22
4.4.2	Rozměry a koncepce pracoviště .....	23
4.4.3	Řízení.....	24
4.4.4	Cena .....	24
4.4.5	Zákaznické služby .....	24
4.4.6	Vyhodnocení.....	24
<b>5</b>	<b>CYKLUS .....</b>	<b>26</b>
5.1	Čas pro manipulaci mimo pracovní prostor stroje.....	26
5.2	Čas pro manipulaci v pracovním prostoru stroje .....	27
5.3	Čas pro obrábění .....	27
5.4	Celkový čas cyklu .....	28
<b>6</b>	<b>NÁVRH POHYBLIVÝCH ČÁSTÍ STROJE .....</b>	<b>29</b>
6.1	Rotační osy .....	29
6.2	Lineární rotační osy .....	32
<b>7</b>	<b>NÁVRH KONCOVÉHO EFEKTORU .....</b>	<b>39</b>
7.1	Cyklus robotu.....	39
7.2	Uchopovací prvky.....	39
7.2.1	Mechanické - pasivní.....	40
7.2.2	Mechanické - aktivní .....	40
7.2.3	Magnetické - pasivní .....	41
7.2.4	Magnetické - aktivní.....	41
7.2.5	Podtlakové - aktivní.....	41
7.2.6	Podtlakové - pasivní .....	41
7.3	Mechanismus kompenzující pohyb obrobku .....	46
7.4	Výměnný adaptér.....	47
7.5	Adaptér pro připojení k robotu .....	48
7.6	Připojovací deska.....	49
7.7	Nosná deska - varianta 1 .....	51
7.8	Nosná deska - varianta 2.....	52
7.9	Srovnání nosných desek.....	53

7.10	Celková sestava .....	55
7.11	Pneumatické schéma .....	56
7.12	Robot .....	58
<b>8</b>	<b>BEZPEČNOST .....</b>	<b>60</b>
8.1	Nebezpečí spojená s průmyslovým robotem .....	60
8.2	Nebezpečí spojená se soustružicím strojem .....	62
<b>9</b>	<b>NÁVOD PRO OBSLUHU STROJE .....</b>	<b>64</b>
9.1	Zapnutí stroje .....	64
9.2	Vypnutí stroje .....	64
<b>10</b>	<b>ZHODNOCENÍ A DISKUZE .....</b>	<b>65</b>
<b>11</b>	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>68</b>
<b>12</b>	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....</b>	<b>69</b>
<b>13</b>	<b>SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK.....</b>	<b>71</b>
13.1	Seznam tabulek.....	71
13.2	Seznam obrázků.....	71

# 1 ÚVOD

V automobilovém průmyslu je kladen velký důraz na automatizaci pracovišť, díky které jsou schopna produkovat výrobky ve velkém množství v krátkém cyklu. Pro hromadnou výrobu se s výhodou využívají jednoúčelové stroje. Tyto stroje jsou často součástí výrobních linek, ve kterých jsou stroje propojeny manipulátory a průmyslovými roboty.

Právě návrhem takového pracoviště se zabývá tato práce. Cílem je navrhnout pracoviště tak, aby z polotovaru vytvořila obrobek do řízení automobilů.

Práce se dále zaměřuje na návrh koncového efektoru 6tiosého průmyslového robotu.

V první části (kap. 3) je popsáno zadání. Je definován požadovaný obrobek, cyklus a povolené zástavbové rozměry pracoviště.

V další části (kap. 4) je navrženo pracoviště a jsou popsány jednotlivé části pracoviště - vstupní skluz, výstupní skluz, koncepce jednoúčelového soustružicího stroje, robot a je navržen celkový layout pracoviště. Dále se práce zabývá (kap. 5) zjištěním cyklu výroby. V další kapitole (kap. 6) je rozepsán návrh rotačních a lineárních os jednoúčelového stroje. Následuje návrh koncového efektoru (kap. 7), ve které jsou zvoleny uchopovací prvky, je navržen způsob rychlé výměny efektoru a popsán mechanismus pro kompenzaci pohybu obrobků při upínání do stroje, který je součástí efektoru. Dále navržení způsobů kalibrace robotu a zvolení vhodného způsobu. Součástí kapitoly je pneumatické schéma a celková sestava koncového efektoru.

Dále je součástí práce navržení bezpečnostních prvků (kap. 8) a vytvoření návodu na zapnutí a vypnutí stroje a jeho spuštění v automatickém cyklu (kap. 9).

Poslední část (kap. 10) je zaměřena na zhodnocení dosažených výsledků a splnění zadání, je v ní zobrazena celková sestava pracoviště a fotografie dokončeného koncového efektoru.



## 2 MOTIVACE

Motivací ke zvolení daného tématu bylo propojení znalostí získaných studiem s praxí. Navržené pracoviště je vytvořeno na základě reálné objednávky a bude sloužit k výrobě řídicích tyčí pro automobilový průmysl.



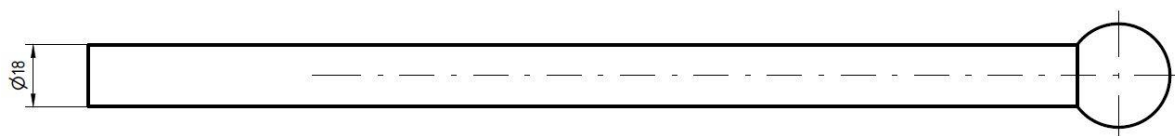


### 3 ZADÁNÍ

Při návrhu koncepce celého pracoviště, je třeba vycházet ze zadání toho, kdo pracoviště objednal. V technickém zadání byl specifikován obrobek, vstupní místo pro nakládání neopracovaných kusů a výstupní místo pro odběr obrobků. Dalším omezujícím faktorem pak byly maximální rozměry, které může stroj zabírat ve výrobní hale. Samotné zařazení pracoviště do výrobní buňky a rozložení těchto buněk ve výrobní hale nebylo součástí zadání, proto se tímto tématem práce nezabývá. Dále byla součástí zadání produkce pracoviště zadána v čase potřebném pro zhotovení 1 kusu.

#### 3.1 Obrobek

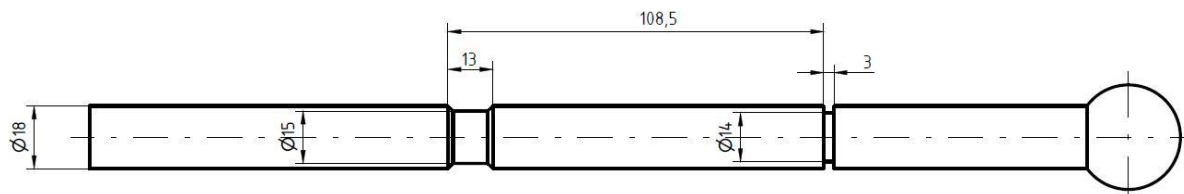
Cílem celého pracoviště je vhodně odebrat materiál z daného polotovaru tak, aby vznikl hotový obrobek dle zadání. Na obrázku 1) je schéma polotovaru.



Obr. 1) Polotovaz čepu

Tento polotovaz vstupuje do pracoviště. Výstupem je obrobek. Stroj provede odebrání materiálu na válcové ploše polotovaru, dle obrázku 2). Součástí pracoviště musí být stroj, který tento úkol vykoná. Bude se jednat o jednoúčelový stroj sloužící k hromadné výrobě tohoto kusu, stroj nebude nakupovaný, jeho výroba je součástí objednávky a právě jeho návrh je součástí této práce. Obráběná součást je rotačního tvaru, úběr materiálu bude prováděn soustružením. Na stroji budou prováděny dvě operace, jedna ke zmenšení průměru válcové části soustružením a druhá bude vytvoření zápichu, také na válcové ploše, zapichováním. Operace prováděné na stroji tedy budou soustružení a zapichování.

Obsahem technického zadání od zákazníka je pouze jeden typ obrobku. Pracoviště se ovšem bude v budoucnu využívat i pro obrobky s jinou délkou a průměrem kulové hlavy. Tedy pracoviště se bude koncipovat na nyní daný obrobek dle technického zadání se snahou udělat toto pracoviště přestavitelné na jiný typ obrobku. Obrábění těchto dalších kusů není součástí nynější objednávky.



Obr. 2) Hotový obrobek

#### 3.2 Rozměry pracoviště

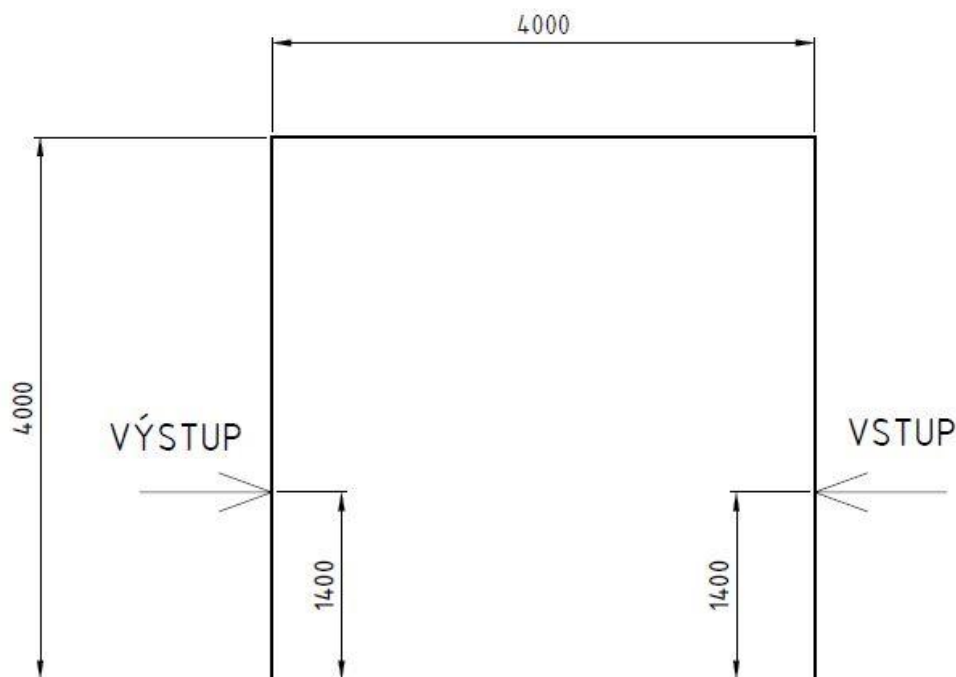
Pracovišti byl ve výrobní hale zákazníka vymezen konkrétní prostor s rozměry patrnými z obrázku 3). Na ně je nutné navázat při navrhování koncepce pracoviště. Na obrázku jsou

vyznačeny nakládací a vykládací pozice. V těchto místech obsluha nakládá nebo vyjímá součásti. Mezi těmito místy a strojem je třeba obrobek vhodně dopravovat. Vhodným řešením se zde zdá být použití průmyslového robotu. Alternativou by bylo použití pneumatických manipulátorů, toto jsem však zavrhl z důvodu menší variability v případě změny obrobku. Přeseřizování manipulátorů by bylo časově náročnější a vyžadovalo větší odbornost obsluhy jak pouhá výměna koncového efektoru robotu. Tím by se snížila pružnost celého pracoviště. Obsluha bude umisťovat polotovary a vyjímat hotové kusy z dopravních zařízení umístěných na předem daných místech, která jsou patrná z obrázku.

Další možností je přímé vyjímání obrobků robotem. Bin picking. Průmyslový robot odebírá kusy přímo z bedny, ve které jsou neuspořádaně umístěné. Uchopovaný objekt je lokalizován a uchopen v daném místě na svém povrchu a s danou orientací. Lokalizace probíhá pomocí průmyslové kamery umístěné v blízkosti bedny. Kusy pak po každém odebrání mění svoji polohu a orientaci v bedně. [1]

Takovéto řešení klade zvýšené nároky na programátorskou činnost, na objem vstupních dat, které řídicí jednotka robotu vyhodnocuje a na samotné chapadlo. Další nevýhodou je nutný velký dosah robotu (robotů). Zvýšené nároky na bezpečnost způsobené absencí pletiva nad bednou s obrobky se obvykle řeší laserovým skenerem. Pořízení laserového skeneru je poměrně finančně nákladné.

Řešení s dopravními zařízeními se tak zdá být nejvhodnějším řešením. Nejjednodušší variantou pro vyvození pohybu je použít gravitační sílu. Na vstup i výstup jsem proto navrhla skluzu. Na vstupu bude obsluha ručně zakládat kusy do vstupního skluzu a na výstupu je bude opět ručně vyjímat. Zajistí se tak i určitá vzdálenost mezi obsluhou a robotem (roboty). Operační prostor robotu může být zcela oddělen od prostoru, ve kterém se pohybují lidé. A to například pletivem.



Obr. 3) Zadané rozměry

### 3.3 Produkce

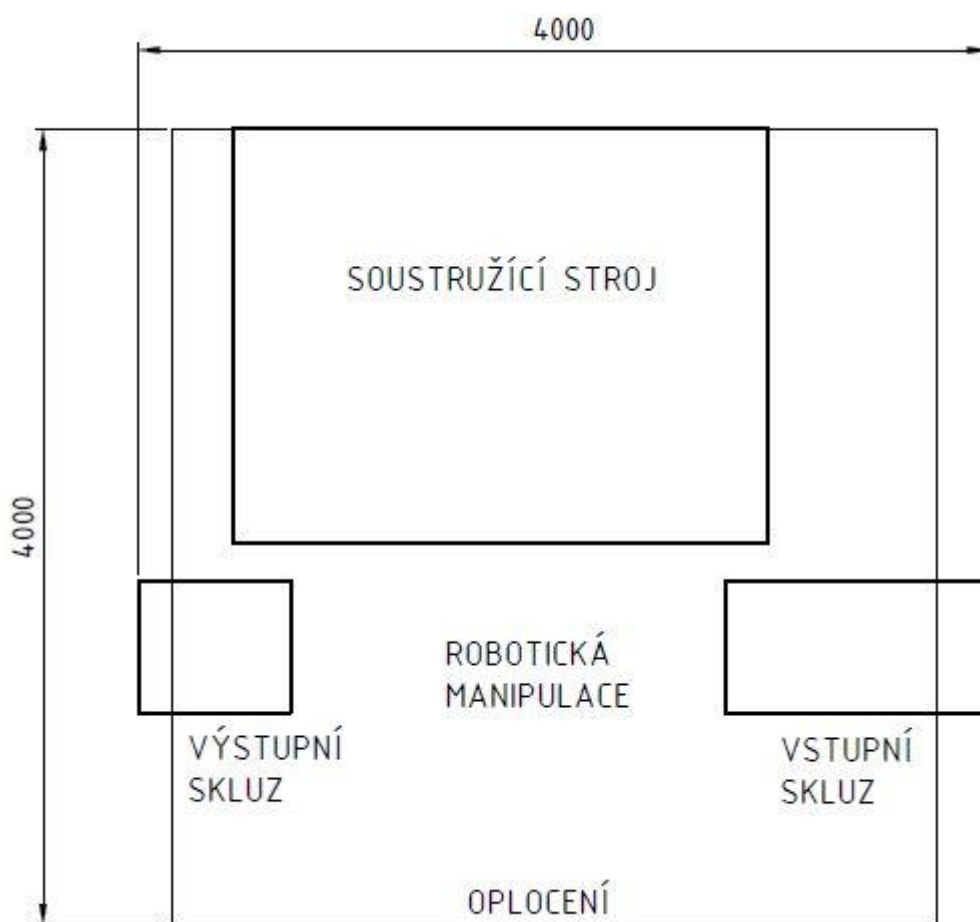
Předpokládaná produkce stroje byla zákazníkem stanovena na 8 – 10 s/kus. Tento čas musí postačit na obrobení kusu i na manipulaci s ním. Aby byl tento čas zajištěn, je výhodnější obrábět zároveň dva kusy. Tak se operační čas jednoho kusu zkrátí na polovinu. Zda bude tento čas splněn, zjistím sečtením časů na obrobení kusů ve stroji a na manipulaci s nimi. Celkový čas lze ovlivnit například rychlostí manipulace, rychlostí upnutí a obrobení a také samotným uspořádáním prvků pracoviště.

## 4 NÁVRH PRACOVISTĚ

Prvním krokem bude navrhnout pracoviště tak, aby plnilo svoji funkci a zároveň aby splňovalo všechny výše zmíněné požadavky zadání.

Součástí pracoviště bude jednoúčelový soustružicí stroj, dva skluzy – vstupní a výstupní a robotická manipulace mezi nimi. Předběžný layout pracoviště je na následujícím obrázku.

Součástí této práce je vytvoření koncepce pracoviště a jednoúčelového stroje. Nikoliv vytvoření modelů a výkresů, to je v kompetenci firmy.



Obr. 4) Layout pracoviště

### 4.1 Vstupní skluz

Pracoviště bude tvořeno vstupním skluzem, do kterého bude obsluha umisťovat neobrobené polotovary do dvou paralelních drah. Aby nemusela obsluha doplňovat kusy po dvou a čekat až robot kusy vyjme a teprve poté založit nové, je vhodné, aby se kusy ve skluzu hromadily a obsluha tak mohla kusy doplňovat pouze po vyčerpání založených kusů. Mezitím tak bude mít časový prostor pro jiné činnosti. Například vyjímání hotových kusů z výstupního skluzu.

Když budou kusy nahromaděné ve skluzu, bude třeba je rozřazovat a posílat k robotu po dvou kusech. Tyto dva kusy budou na konci skluzu uchopeny čelistmi za válcovou část a

přetočeny do horizontální polohy. Z této polohy je robot pomocí chapadla vyjme. Bude zaručena přesnost uchopení.

## 4.2 Výstupní skluz

Dále je pracoviště tvořeno výstupním skluzem, který bude stejný jako vstupní skluz, akorát nebude obsahovat rozřazování a přetáčení. Robot kusy pouze upustí do drah. Na konci nebudou kusy padat do bedny, aby se nepoškodil jejich obrobený povrch, ale budou se ve skluzu hromadit a obsluha je bude průběžně vyjímat.

## 4.3 Soustružicí stroj

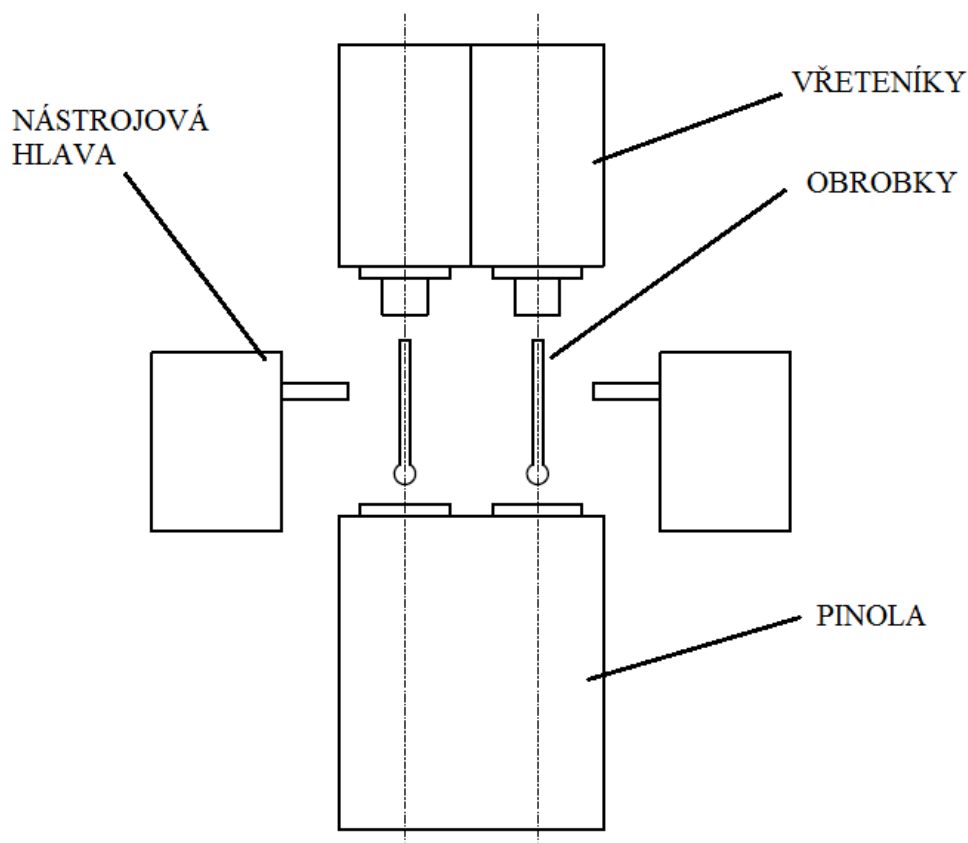
Hlavní část pracoviště tvoří jednoúčelový soustružicí stroj, který bude obrábět zároveň dva kusy. Kusy mohou být upnuty ve stroji horizontálně nebo svisle. Volím horizontální upnutí a to z následujících důvodů: tříska vznikající obráběním by padala do upínače obrobku a tím by se znehodnotila jeho funkce. Dalším důvodem je délka obrobku, která je v poměru k jeho šířce poměrně velká. Pracovní prostor by musel být nepřiměřeně vysoký.

Při soustružení rotuje obrobek. Budou potřeba dvě vřetena. Jelikož se budou točit zároveň je výhodné je spojit přes řemen a pohánět jedním společným pohonem. Vřetena obrobek upnou do kleštiny za válcovou část. Výsledné upnutí tak bude přesné. Kleština obecně zaručuje přesnější uchycení jak sklíčidlo. Vřeteníky budou pevné, nepohyblivé.

Naproti vřetenům bude umístěna pinola se dvěma sklíčidly, do kterých se bude upínat obrobek za kulovou část. Pinola bude umístěna na pohyblivém suportu, aby bylo možné poodjet a vyložit hotové kusy a založit nové. Robot při zakládání nových kusů do stroje nejprve zasune obrobek do kleštiny, kde bude upnut, tím se vystředí. Stisk kleštiny bude vyvozován hydraulicky ovládaným pístem. Obrobek bude dále držen chapadlem, aby vlivem gravitace nedocházelo ke svěšení čepu a narušení tak jeho vystředění. Poté přijede k obrobku pinola a obrobek upne do sklíčidla. Tlak na sklíčidle bude regulován tlakovým ventilem, aby nedocházelo k deformaci kulové části čepu. Vhodný tlak se tak nastaví po odzkoušení stroje na vzorových obrocích.

Po upnutí nového kusu do kleštiny a zavezení do sklíčidla chapadlo robotu rozevře čelisti, obrobek uvolní a odjíždí mimo pracovní prostor stroje.

Během odjezdu robotu z pracovního prostoru a zavírání dveří stroje se začnou rozbíhat vřetena. Po jejich rozjezdu k rotujícím obrobkům přijedou nožové hlavy umístěné na dvou křížových suportech, které umožní jak axiální, tak radiální pohyb vzhledem k ose obrobku. Na polotovaru se budou provádět dvě soustružnické operace. Soustružení průměru v dané délce na menší průměr a tvorbu zápichu. Budou potřeba dva různé nástroje. Proto bude nožová hlava otočná. Po dokončení jedné soustružnické operace poodjede, přetočí se, znovu přijede k obrobku a provede druhou operaci. Poté opět odjíždí, tak, aby uvolnila prostor pro manipulaci s obrobky. Schematický návrh tohoto uspořádání je na obrázku 5).



Obr. 5) Schematický návrh pracovního prostoru stroje

#### 4.3.1 Vřetena

Obě vřetena budou poháněna jedním servomotorem. Ten umožňuje regulaci otáček, to je výhodné při změně obrobků. Na každý typ obrobku budou potřeba jiné otáčky.

Přenos kroutícího momentu bude probíhat přes řemen. Namísto řemene lze použít i ozubená kola, ty jsou ovšem oproti řemenu výrazně hlučnější. Jelikož jsou obrobky rotačního tvaru, není nutné je vzájemně polohovat, proto bude stačit klínový řemen s podélnými drážkami Micro-V PL. Výhodou těchto řemenů je jejich tichý chod.

Převod bude pomocí řemenic, jedna řemenice bude umístěna na výstupní hřídeli motoru a dvě budou spojeny s vřetenem. Převodová skříň není nutná, servomotor umožňuje regulaci otáček. Spojení hřídelí a řemenic pomocí kuželových svěrných pouzder s pojištěním proti pootočení pomocí pera. Řemen je třeba zvolit nejbližší delší než je změřená délka. Předepnutí pak probíhá pomocí předepínacího mechanismu kdy se motor posouvá po vedení. Posuv se reguluje pomocí závitové tyče.

Vřetena budou umístěna v litinových skříňových vřetenících. Hydraulickými rotačními přívody se ovládá sevření kleštiny. Vřetena budou spojena s vřeteníkem pomocí ložisek. Výběr těchto ložisek ovlivňuje přesnost celého stroje.

#### 4.3.2 Nástrojové hlavy

Na každém z obrobků se budou provádět dvě operace – soustružení a zapichování. Každá z těchto operací vyžaduje jiný nástroj. Nástroje budou upevněny v nástrojových hlavách, které budou otočné a budou tak umožňovat provedení obou operací. Přetočení o požadovaný úhel a aretace nástroje v poloze budou provedeny pomocí hydraulických válců.

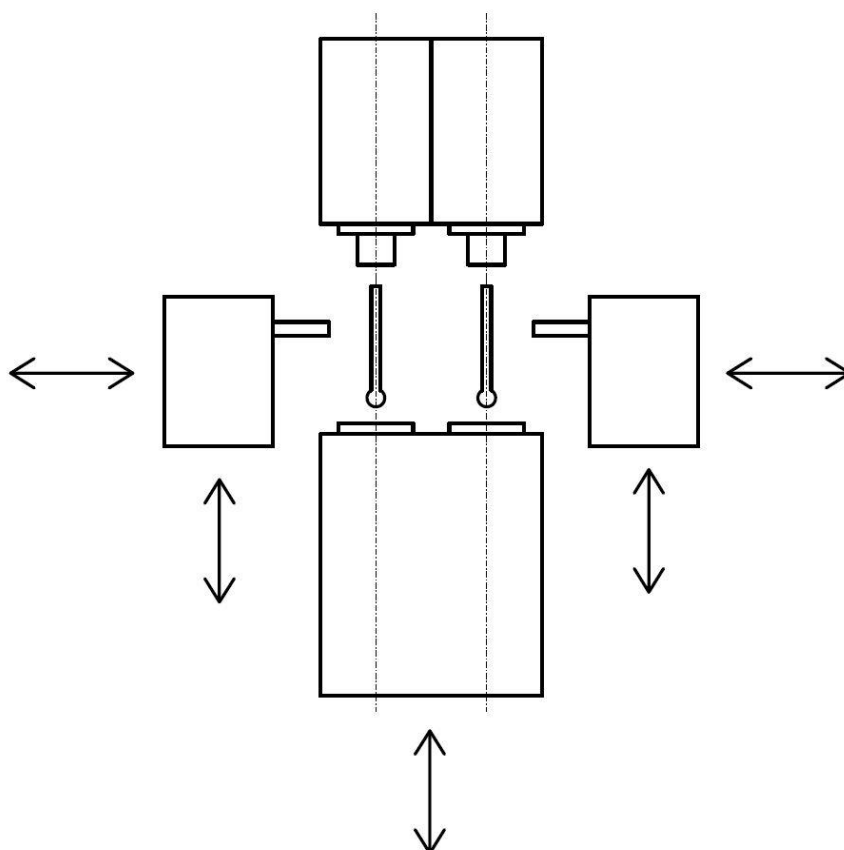
### 4.3.3 Posuvová lineární soustava

Základní dva typy provedení jsou:

- šroub se otáčí a matice se posouvá
- matice se otáčí a posouvá, šroub se neotáčí [2]

Motor je vhodné umístit co nejdál od pracovního prostoru stroje, v opačném případě by hrozilo nasátí třísky vzniklé obráběním. To by mohlo nastat v případě, že by byl motor umístěn přímo na posouvané jednotce. Další nevýhodou uspořádání s pevným kuličkovým šroubem je umístění silových kabelů, které se budou pohybovat s motorem, to by se řešilo například kabelovým řetězem. Je tedy výhodnější použít provedení se šroubem, který se otáčí. Motor se pak umístí přímo na jeho konec.

V tomto případě se bude lineárně posouvat pinola, tento pohyb je pouze pomocný, nikoli řezný. Posuv bude sloužit k upnutí obrobku mezi pinolu a vřetenou. Vřeteník je umístěn pevně vůči rámu stroje. Pinola je umístěna na pohyblivém suportu. Posuvný pohyb budou konat také nožové hlavy, které před obrobením odjedou a uvolní prostor k vyjmutí hotových kusů a založení nových koncovým efektem robotu. Po upnutí přijede hlava k rotujícímu obrobku a začne obrábění. Poté znovu odjede, přetočí se a znovu přijede. Po dokončení druhého obrábění odjíždí a uvolňuje místo pro výměnu. Pohyby lineárních os jsou vyznačeny na obrázku 6).



Obr. 6) Schéma pracovního prostoru stroje s naznačenými směry lineárních pohybů



Suporty se budou pohybovat ve vedení. Existuje několik typů vedení. Z nich se nejčastěji pro takovéto aplikace používají kluzná a valivá vedení

Kluzné vedení se dělí na hydrodynamické a hydrostatické. Při použití kluzného vedení může docházet k nerovnoměrnému a trhavému pohybu způsobenému nepřesnostmi povrchu a k necitlivosti – nemožnosti nastavení nástroje vůči obrobku. Těmto nepříznivým jevům lze částečně nebo zcela zabránit vhodnými oleji či obložení stykových ploch plastovým materiálem. [2]

Nevýhodou hydrodynamického vedení je nemožnost zcela vymezit vůli, tím vznikají nepřesnosti. Vedení je třeba mazat olejovým filmem, aby se nezadřelo, to zvyšuje nároky na obsluhu a také na životní prostředí, neboť bude zvýšená spotřeba maziva. Také může způsobovat znečištění stroje a tím nejen poškodit vizuální stránku stroje ale i ohrozit bezpečnost osob. Také je nutné při výrobě, případné generální opravě či retrofitu zaškrabávat vodící plochy. Také lze použít plast, například turcit, ten má ale tu nevýhodu, že se do něj může zapíchnout tříska od obrábění a tím znehodnotit funkce vedení. Také se rychleji opotřebují, i když jejich výměna není příliš složitá.

Obecně lze říci, že kluzné plochy jsou díky svým dobrým tlumícím vlastnostem vhodné spíše pro těžké obrábění. V tomto případě bude postačovat vedení valivé. Síly od obrábění nejsou tak velké, aby poškodily valivé elementy. Jako valivé elementy budou použity válečky, které mají větší únosnost jak kuličky. Tyto válečky budou umístěny ve vozičkách, které jezdí ve vedení rybinového tvaru. Vedení budou umístěna po obou stranách suportu, mezi nimi bude kuličkový šroub. Délka vedení se uzpůsobí délce potřebného zdvihu.

## **4.4 Robot**

Průmyslový robot tvoří významný prvek automatizace celého pracoviště. Při jeho volbě je třeba vzít v úvahu několik faktorů. Především je to funkce, kterou bude v rámci pracoviště vykonávat. Také rozměry a koncepce pracoviště. Dalším, velice důležitým aspektem při výběru vhodného robotu, je způsob jeho řízení. Dále je to jeho cena, dostupnost, servis a další zákaznické služby nabízené výrobcem či dodavatelem.

Výrobce průmyslového robotu, firmu ABB, volím na základě firemních zkušeností a přání zákazníka.

Podmínkou manipulace bylo, aby robot obrobek unesl. Váha jednoho obrobku je 0,4 kg. Sečtením váhy uchopených obrobků a váhy koncového efektoru se určí celková váha, podle které zvolím nejbližší vyšší katalogovou nosnost robotu.

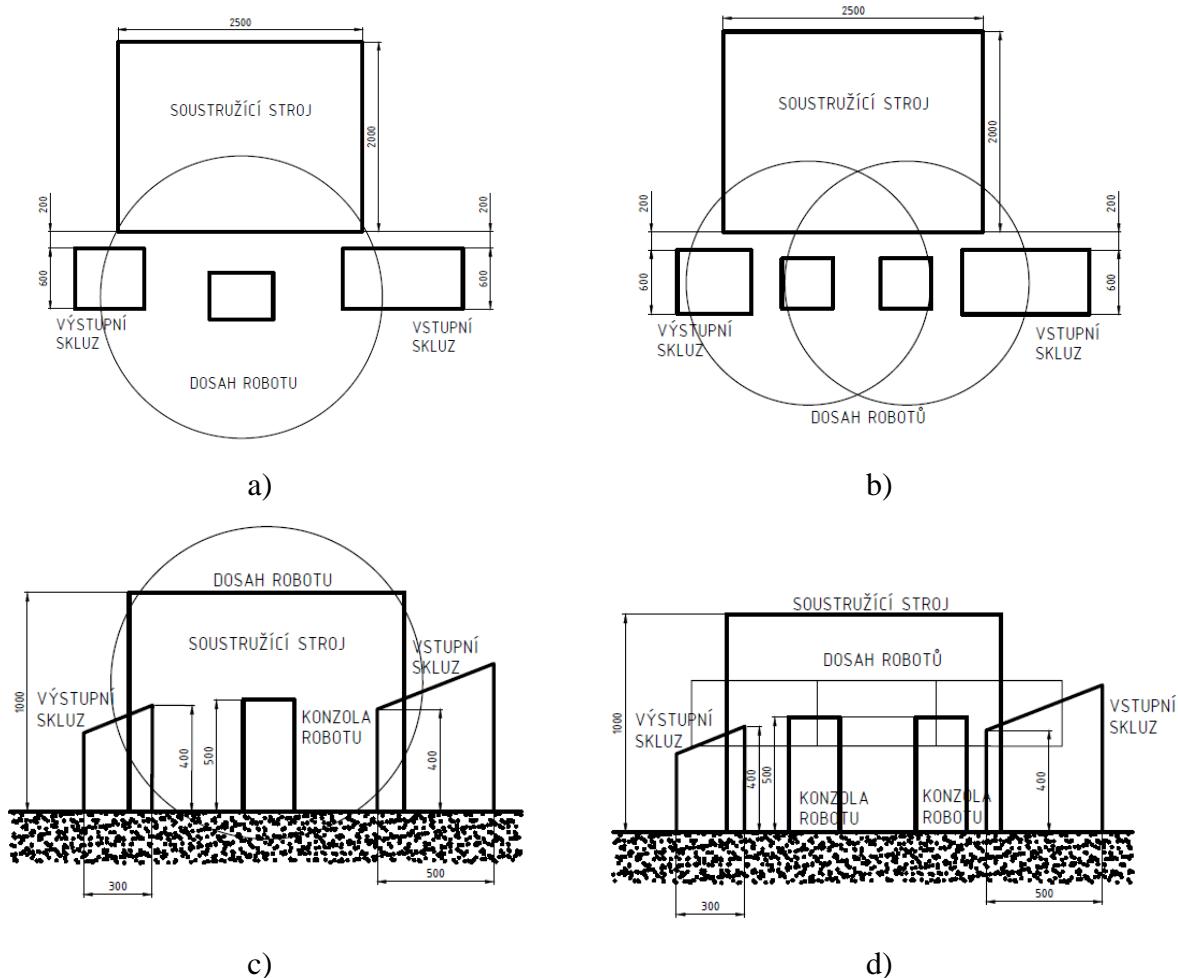
Robot také musí splňovat minimální dosah.

### **4.4.1 Funkce robotu**

Po ručním naložení obrobků na vstupní skluz je nutno tyto obrobky dopravit do pracovního prostoru jednoúčelového stroje, zde je založit k obrobení, po obrobení je ze stroje vyjmout a přemístit do výstupního skluzu. Tuto funkci bude v pracovišti zastávat průmyslový robot. Jeho úloha tedy bude manipulační. Od této úlohy se pak bude odvíjet i návrh koncového efektoru – chapadla.

Z hlediska plnění této funkce se nabízejí dvě možnosti. Použití jednoho 6tiosého robotu nebo dvou 4osých robotů typu SCARA. Náskres obou variant je na obrázcích 7) a), b),

c), d). Půdorys a bokorys varianty s jedním robotem je vidět na obrázcích 7) a), c). S dvěma roboty na obrázcích 7) b), d). Dosahy robotů jsou pouze přibližné a jejich tvar schematický.



Obr. 7) Návrh pracoviště a) půdorys s jedním 6tiosým robotem, b) půdorys se dvěma SCARA roboty, c) bokorys s jedním robotem 6tiosým robotem, d) bokorys se dvěma SCARA roboty

Obě tyto varianty jsou pro toto pracoviště možné. V případě jednoho 6tiosého robotu jsou obrobky koncovým efektem vyjmuty a založeny do stroje, po obrobení vyjmuty a založeny do výstupního skluzu. V případě dvou robotů typu SCARA jsou obrobky vyjmuty z vstupního skluzu a založeny do stroje jedním robotem a druhým vyloženy ze stroje a upuštěny do výstupního skluzu.

#### 4.4.2 Rozměry a koncepce pracoviště

Průmyslový robot je třeba umístit tak, aby svým koncovým efektem dosáhl na vstupní skluz, do pracovního prostoru stroje a na výstupní skluz. Orientačně navržené rozměry jsou patrné z předchozích obrázků 7 a), b), c), d). Aby mohlo být toto dosaženo, je vhodné robot umístit na konzolu. 4osé roboty nemývají tak velký dosah jako 6tiosé, odlišný tvar prostoru, do kterého dosáhnou, je dán jejich rozdílnými kinematikami. Například robot typu SCARA obvykle nemá tak velký rozsah v ose Z. Toto omezení by mohlo působit komplikace při použití těchto robotů. V případě použití jednoho 6tiosého robotu bude postačovat konzola jedna, v druhém případě budou potřeba konzoly dvě. Ovšem konzoly pod roboty typu SCARA nemusí být tak velké, protože ponesou menší váhu a budou méně silově zatíženy. I

přes tento fakt je však dle mého názoru výhodnější použít konzolu jednu. A to z důvodu pravděpodobné delší doby konstrukce a výroby. Optimálním řešením tohoto problému by bylo konstrukčně navrhnout a poptat obě varianty. Ale vzhledem k faktu, že pracoviště je jednoúčelové a bude se vyrábět pouze jednou, není toto řešení adekvátní.

Dva roboty také znamenají dva koncové efekторы. Výhodou 6tiosých robotů je jejich schopnost natáčet koncový efektor ve více osách. Roboty SCARA umožňují pouze rotaci kolem osy Z.

Z tohoto pohledu je tedy výhodnější použít robot jeden.

#### **4.4.3 Řízení**

Faktorem při výběru značky byly, jak již bylo zmíněno výše, firemní zkušenosti. A právě znalost zapojování a programování těchto robotů, která je pro každého výrobce specifická, představuje velkou výhodu při začleňování robotu do pracoviště. U nové značky je třeba se naučit nový programovací jazyk a naučit se robota zapojit do pracoviště.

Napsání programu pro 6tiosý robot je náročnější na znalosti programátora.

#### **4.4.4 Cena**

Cena dvou robotů typu SCARA a jednoho 6tiosého robotu s parametry vhodnými pro dané uspořádání je srovnatelná.

#### **4.4.5 Zákaznické služby**

Před koupí robotu je třeba ověřit si jeho dostupnost a také dodací termín. Ke zjištění těchto informací je ale nejdříve nutné znát konkrétní typ robotu.

Firma ABB poskytuje k robotům dostatečný servis.

#### **4.4.6 Vyhodnocení**

Informace zjištěné z této kapitoly jsou shrnuty v tabulce 1. Každému kritériu, které se hodnotí, byla přiřazena jeho váha, vysoká, střední nebo nízká. Čím větší váha, tím je třeba přikládat výsledku hodnocení kritéria větší význam při výsledném rozhodování. Aby byl robot vhodný pro danou funkci, a možnost jeho začlenění do pracoviště jsou nezbytné, proto mají v rozhodovacím procesu největší váhu. Řízení a cena robotu jsou při rozhodování důležité, ovšem nejsou pro výběr kritické. Zákaznické služby pak tento proces v menším měřítku také ovlivňují.

Tab 1) Tabulka volby robotu

	Váha	Jeden 6tiosý robot	Dva 4osé roboty
Funkce robotu	vysoká	✓	✓
Rozměry a koncepce pracoviště	vysoká	↑	↓
Řízení	střední	↓	↑
Cena	střední	✓	✓
Zákaznické služby	nízká	✓	✓

- ✓ lze
- x nelze
- ↑ lze s výhodou
- ↓ lze s nevýhodou

Na základě údajů vyplněných v tabulce a jim přiřazené váhy lze říci, že varianta s jedním průmyslovým robotem je vhodnější. Dále se proto budu zabývat pouze touto variantou.

K vytipování konkrétního robotu chybí jeho potřebný dosah a hmotnost koncového efektoru. Jeho návrhem se zabývá kapitola 7.

## 5 CYKLUS

Čas, který uběhne od uchopení neobrobeného kusu do upuštění hotového kusu do výstupního skluzu, je čas výroby jednoho kusu neboli cyklus. Operační čas se dá rozdělit do více částí:

- čas pro manipulaci mimo pracovní prostor stroje
- čas pro manipulaci v pracovním prostoru stroje
- čas pro obrábění

Obrábění a manipulace vně stroje probíhají zároveň. Proto se bude do výsledného času cyklu počítat pouze delší z těchto dvou časů.

V následujících podkapitolách budou rozepsány jednotlivé operace s odhadem délky jejich trvání. Tyto časy po sečtení budou tvořit odhadnutou délku trvání jednoho cyklu. Odhad cyklu není optimální řešení, tím by bylo vytvořit simulaci pracoviště v některém ze simulačních programů, např. ABB RobotStudio nebo Siemens Tecnomatix Process Simulate s virtuálním kontrolerem ABB. Do simulačního programu se nahraje pracoviště s daným robotem a simuluje se jeho pohyb. Program vypíše dobu potřebnou k manipulaci s minimální chybou oproti reálnému pohybu. Toto řešení nebylo použito z toho důvodu, že firma nevlastní licenci ani na jeden z těchto simulačních programů. Proto byl použit odhad na základě konzultací s Pavlem Balákem, pracovníkem firmy, který má zkušenosti s pracovišti s podobnou koncepcí a s roboty konajícími podobné manipulační úlohy.

### 5.1 Čas pro manipulaci mimo pracovní prostor stroje

Tento čas začíná po vyjetí robotu z pracovního prostoru stroje s hotovými obrobky upnutými v chapadle a končí před zajištěním robotu ke dveřím stroje s novými kusy v chapadle. Jednotlivé časy odhadem budou:

- přejezd robotu z pracovního prostoru stroje k výstupnímu skluzu s upnutými hotovými kusy: 2 sec
- uvolnění hotových kusů z chapadla nad výstupním skluzem: 1 sec
- přejezd robotu k naložení nových kusů: 2 sec
- upnutí nových kusů do chapadla: 1 sec
- uvolnění nových kusů ze skluzu: 1 sec
- přejezd robotu s novými kusy ke dveřím: 2 sec

Celkový čas manipulace mimo pracovní prostor stroje je: 9 sec.

Během odjezdu robotu a zavírání dveří se rozbíhá vřetení.

## 5.2 Čas pro manipulaci v pracovním prostoru stroje

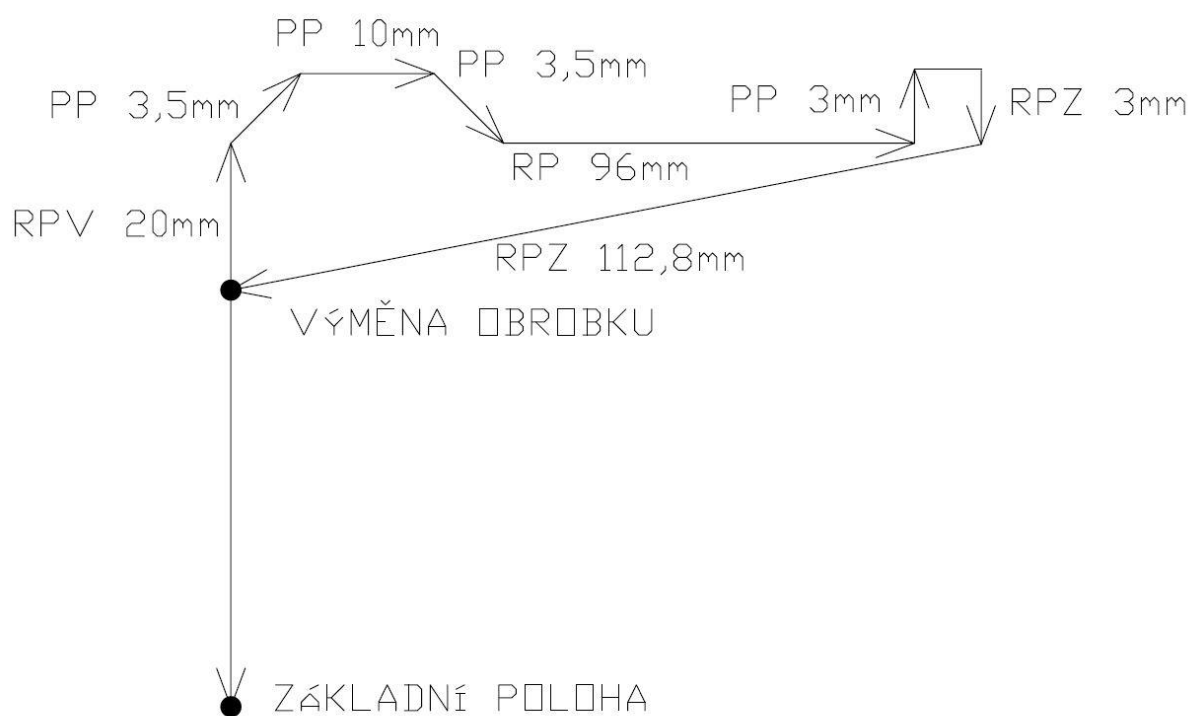
Tento čas začíná otevřením dveří stroje po obrobení kusu a končí jejich zavřením po založení nového a odvezením hotového kusu. Jednotlivé časy odhadem budou:

- otevření dveří stroje: 1,5 sec
- přejezd robotu k obrobeným kusům: 1 sec
- upnutí obrobených kusů do chapadla: 1 sec
- uvolnění obrobených kusů ze stroje: 1 sec
- otočení koncového efektoru: 1 sec
- upnutí nových kusů ve stroji: 1 sec
- odepnutí chapadla robotu: 1 sec
- odjezd robotu za dveře: 2 sec
- zavření dveří stroje: 1,5 sec

Celkový čas manipulace v pracovním prostoru stroje: 11 sec.

## 5.3 Čas pro obrábění

Čas potřebný pro obrobení polotovaru do požadovaného tvaru. Aby bylo možné určit čas obrábění, je třeba mít pracovní plán. Ten je vidět na obrázku 8).



Obr. 8)

Pracovní plán

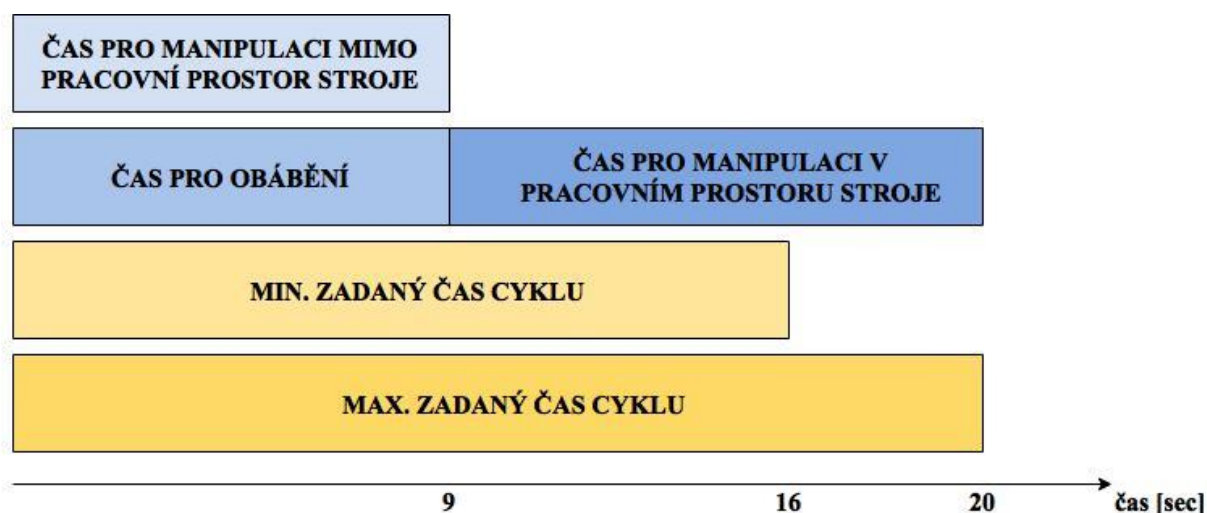
Soustružnický nůž je v poloze pro obrábění, RPV (rychluposuv vpřed) pohybem se přiblíží k obrobku, dále koná PP (pracovní posuv), kterým kopíruje požadovaný tvar. Pak se rychluposuvem přemístí k zápichu, při přesunu odaretuje nástrojovou hlavu, ta se přetáčí, nůž pro zápich je v poloze pro zapichování a tam se opět hydraulicky aretuje. Dále dle požadovaného tvaru zápichu PP zajíždí do obrobku a RPZ (rychluposuv zpět) se vrací.

Dalším RPZ, během něhož opět přetáčí nástrojovou hlavu a aretuje ji, zajíždí do výchozí polohy pro automatickou výměnu obrobku. Během tohoto pohybu je vřeteno brzděno a otevírají se dveře. Robot vjíždí do pracovního prostoru stroje, aby vyměnil kusy. Základní poloha je určená pro výměnu nástroje a jiný servisní zásah. Do této polohy nástrojová hlava během cyklu nepojede. Délky jednotlivých pohybů a jejich schematicky znázorněné dráhy vychází z požadovaného tvaru hotového obrobku, obr. 2).

Konkrétní časy budou spočítány v další kapitole. Maximální čas pro obrábění, tak aby byl zadaný cyklus splněn, je 9 sec. Zkrácením časů obrábění na méně než 9 sekund nemá smysl, pokud nebude zkrácen i čas pro manipulaci s obrobkem mimo pracovní prostor stroje. V opačném případě nebude schopný obrábět, dokud nebude mít kus k obrábění.

## 5.4 Celkový čas cyklu

Na následujícím obrázku 9) jsou znázorněny jednotlivé časy. Čas potřebný pro obrábění by měl být stejný jako čas pro manipulaci mimo pracovní prostor stroje. Po sečtení jejich času a času pro manipulaci v pracovním prostoru stroje vyjde čas celkový – 20 sec. Požadovaný čas cyklu pak byl 16-20 sec pro dva obrobky.



Obr. 9) Časový diagram

Pro zjištění přesných obráběcích časů je třeba zabývat se návrhem pohyblivých částí v pracovním prostoru obráběcího stroje.

## 6 NÁVRH POHYBLIVÝCH ČÁSTÍ STROJE

Mezi pohyblivé části v pracovním prostoru soustružicího stroje patří vřetena, kde je potřeba navrhnout otáček, kroutící moment a výkon potřebný pro návrh jejich pohonu. Dále posuvné osy. Jejich návrh spočívá ve výběru vhodného kuličkového šroubu s maticí, rychlosti posuvu a výkonu potřebném pro volbu pohonu kuličkového šroubu.

### 6.1 Rotační osy

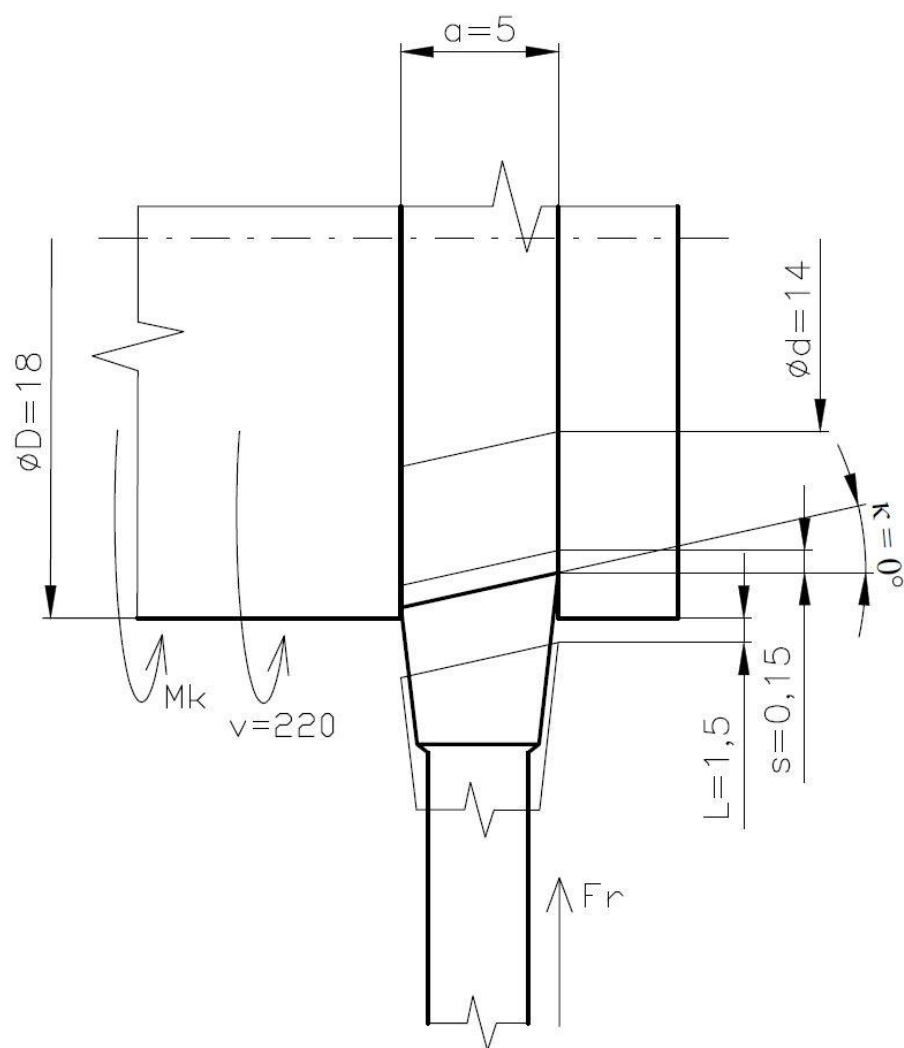
Na stroji budou prováděny dva typy obráběcích operací a to soustružení a zapichování. Pro každou operaci je třeba udělat výpočet zvlášť. Tento výpočet jsem provedla v programu firmy Sandvik Coromant. Do programu byly zadány vstupy, které se pohybovaly v mezích doporučených a obvykle používaných parametrů pro dané operace. Dále materiál a další fyzikální vlastnosti obrobku. Opotřebením nástroje a účinnost stroje.

Tyto vstupní hodnoty jsou uvedeny v tabulce 2) pro zapichování a v tabulce 3) pro soustružení. Pod každou z tabulek je obrázek schematicky znázorňující danou operaci s vybranými vstupními hodnotami.

Tab 2) Tabulka vstupních hodnot pro zapichování [3]

Materiál	Vysokolegovaná ocel
Tvrdość [HB]	150 – 300
Měrný řezný odpor [N/mm <sup>2</sup> ]	3000
Průměr D [mm]	18
Průměr d [mm]	14
Úhel nastavení K [°]	0°
Řezná rychlost v [m/min]	80
Posuv s [mm/ot]	0,15
Šířka břitu a [mm]	5
Součinitel otupení	1,3
Účinnost stroje	0,8
Vzdálenost L [mm]	1,5
Počet nástrojů m	1

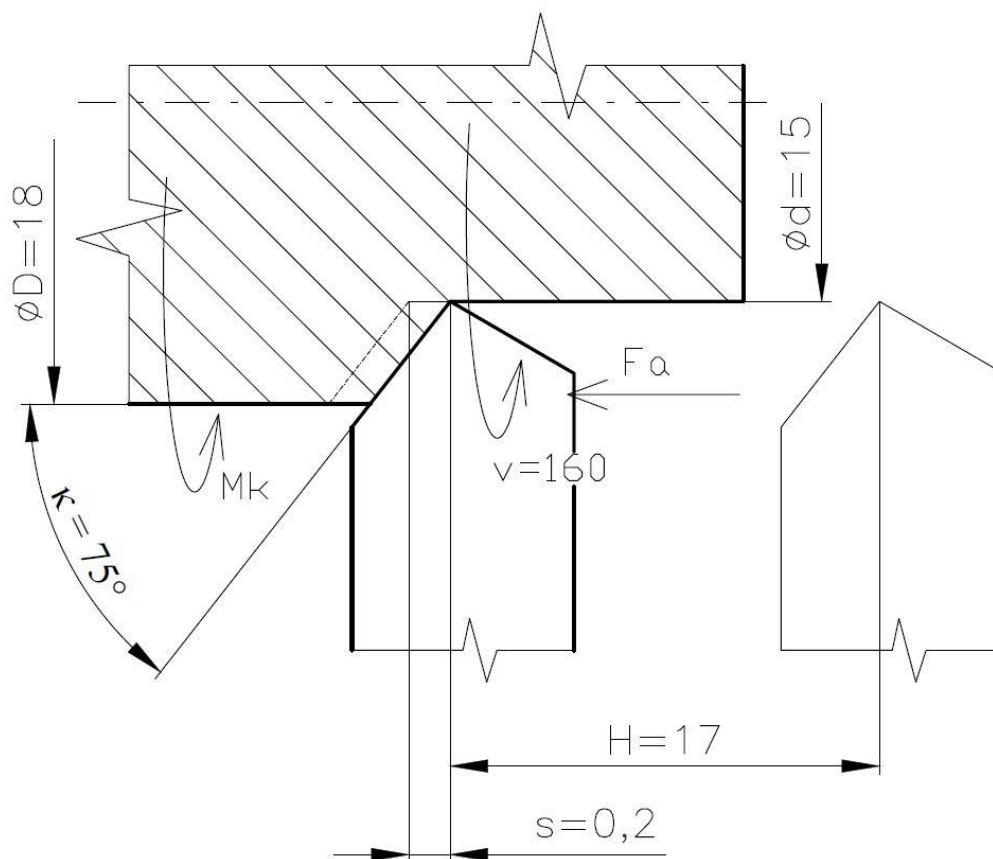




Obr. 10) Schéma zapichování - přepracované [3]

Tab 3) Tabulka vstupních hodnot pro soustružení [3]

Materiál	Vysokolegovaná ocel
Tvrдост [HB]	150 – 300
Měrný řezný odpor [N/mm <sup>2</sup> ]	3000
Průměr D [mm]	18
Průměr d [mm]	15
Úhel nastavení K [°]	75°
Řezná rychlost v [m/min]	160
Posuv s [mm/ot]	0,2
Součinitel otupení	1,3
Účinnost stroje	0,8
Hloubka řezu H[mm]	17
Počet nástrojů m	1



Obr. 11) Schéma soustružení - přepracované [3]

Výstupy z programu jsou uvedeny v následujících tabulkách. Opět pro každou obráběcí operaci zvlášť.

Tab 4) Tabulka výstupních hodnot pro zapichování [3]

Otáčky (konstantní) $n$ [ot/min]	1410
Posuv minutový $s_m$ [mm/min]	212
Čas obrobění $t$ [s]	0,78
Radiální síla max. $F_r$ [kN]	1,94
Kroutící moment vřetena max. $M_k$ [Nm]	34,7
Příkon stroje max. $P$ [kW]	8,42
Objem odebraného mat. $Q_v$ [cm <sup>3</sup> /min]	53,3

Tab 5) Tabulka výstupních hodnot pro soustružení [3]

Otáčky $n$ [ot/min]	2830
Posuv minutový $s_m$ [mm/min]	566
Čas obrobění $t$ [s]	1,8

Axiální síla $F_a$ [kN]	0,698
Krouticí moment vřetena $M_k$ [Nm]	11,9
Příkon stroje max. $P$ [kW]	4,42
Objem odebraného mat. $Q_v$ [cm <sup>3</sup> /min]	44

Čas pro provedení operace soustružení je  $t=1,8$  sec. Čas pro zapichování je  $t=0,78$  sec.

Otáčky jsou větší u soustružení. Proto pohon vřetene bude dimenzován pro  $n=2830$  ot/min. Dalším parametrem pro výběr pohonu jsou vypočítané síly, krouticí moment a příkon.

Objem odebraného materiálu slouží pro návrh třískového dopravníku, který vynáší odpad od obrábění ven ze stroje, který dále padá do připravených beden.

## 6.2 Lineární rotační osy

Dále je třeba navrhnout pohon pro lineární osy. Bude potřeba 5 motorů – 4 pro lineární osy křížových suportů nástrojových hlav, konající řezný pohyb a jeden pro lineární osu pinoly, která koná pouze pomocný pohyb. Jelikož pinola koná pouze pomocný pohyb, nikoli řezný, na parametry motoru budou kladeny nižší požadavky jak na zbývající motory. Nebudu proto provádět výpočty pro tento motor a použiji stejný motor jako na křížové suporty, které budou pro tento účel dostačující.

Křížový suport se, jak je patrné z pojmenování, skládá ze dvou na sebe kolmých lineárních os. Jedna z řízených os slouží k posuvu podélnému vůči upnutému obrobku, druhá z os je kolmá k ose obrobku. Každá z os má jiný potřebný zdvih.

Do vstupních hodnot, zobrazených v tabulkách 6) a 7), výpočtového programu Sandvik Coromant, jsem zadala maximální zátěžnou sílu  $F_{Amax}$ , největší sílu, vypočtenou z návrhu rotačních os. Dále požadované rozměry pro jednotlivé suporty a předpokládanou váhu. Koeficient tření ve vodivých plochách se volí dle typu vedení, které bude valivé s vozičky s válečkovými elementy. Úhel sklonu bude nulový, suporty budou v horizontální poloze. Průměr kuličkového šroubu volím 32 mm, potřebná délka pro zdvih bude pro podélný suport 450 mm, pro příčný 400 mm. Dle stoupání kuličkového šroubu se odvíjí rychlost a přesnost polohování. Obecně lze říci, že čím větší stoupání, tím klesá přesnost polohování a roste rychlost posuvu. Jelikož přesnost polohování nástrojové hlavy přímo ovlivňuje přesnost obrobené plochy, volím nižší stoupání. Průměr hnacího a hnaného kola je pouze symbolický a oba průměry jsou voleny tak, aby se po vzájemném dělení rovnal převod  $i=1$ . A to z toho důvodu, že žádné hnací ani hnané kolo není použito, motor je upevněn přímo v ose kuličkového šroubu. Dále se navrhne motor a do vstupních hodnot se zapíše jeho parametry, zda je motor vhodný či ne se ukáže ve výstupní tabulce. Je třeba motor navrhnout tak, aby ze statického, kinematického i dynamického hlediska vyhovoval. Pod tabulkami je opět schematicky znázorněn suport s kuličkovým šroubem a maticí. Výstupní hodnoty pro podélný a příčný suport jsou zobrazeny v tabulkách 8) a 9).

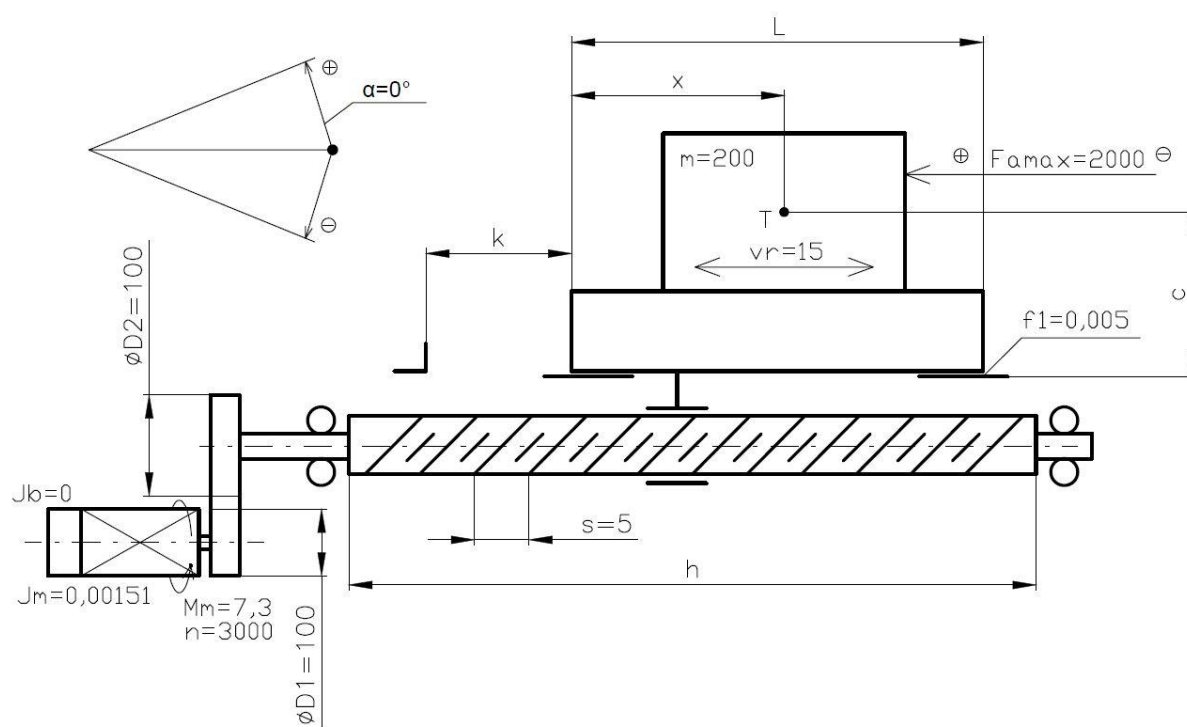
Tabulka vstupních hodnot pro podélný suport[3]

Zátěžná síla max. $F_{Amax}[N]$	2000
Hmotnost posouvajících se hmot včetně stolu $m[kg]$	200
Vzdálenost podpěr vedení $L[mm]$	330
Rameno a působíště zátěžné síly $[mm]$	200
Rameno b $[mm]$	30
Rameno c působíště těžiště posouvajících se hmot $[mm]$	150
Rameno x působíště těžiště posouvajících se hmot $[mm]$	200
Součinitel tření ve vodících plochách $f_1$	0,005
Úhel sklonu vedení $\alpha[^\circ]$	0
Koeficient vyvážení $k_v$	0
Průměr kuličkového šroubu $d [mm]$	32
Délka kuličkového šroubu $h [mm]$	400
Stoupání kuličkového šroubu $s [mm]$	5
Průměr hnacího kola $D1 [mm]$	100
Průměr hnaného kola $D2 [mm]$	100
Moment motoru $M_m[Nm]$	7,3
Otáčky motoru max. $n [min^{-1}]$	3000
Moment setrvačnosti brzdy $J_m[kg.m^2]$	0,00151
Moment setrvačnosti brzdy $J_b[kg.m^2]$	0
Délka rychloposuvu $k [mm]$	
Rychloposuv $v_r[m/min]$	15

Tab 6) Tabulka vstupních hodnot pro příčný suport[3]

Zátěžná síla max. $F_{Amax}[N]$	2000
Hmotnost posouvajících se hmot včetně stolu $m[kg]$	200
Vzdálenost podpěr vedení $L[mm]$	330
Rameno a působíště zátěžné síly $[mm]$	200
Rameno b $[mm]$	30
Rameno c působíště těžiště posouvajících se hmot $[mm]$	150
Rameno x působíště těžiště posouvajících se hmot $[mm]$	200
Součinitel tření ve vodících plochách $f_1$	0,005
Úhel sklonu vedení $\alpha [^\circ]$	0

Koeficient vyvážení kv	0
Průměr kuličkového šroubu d [mm]	32
Délka kuličkového šroubu h [mm]	350
Stoupání kuličkového šroubu s [mm]	5
Průměr hnacího kola D1 [mm]	100
Průměr hnaného kola D2 [mm]	100
Moment motoru $M_m$ [Nm]	7,3
Otáčky motoru max. $n$ [ $\text{min}^{-1}$ ]	3000
Moment setrvačnosti brzdy $J_m$ [ $\text{kg.m}^2$ ]	0,00151
Moment setrvačnosti brzdy $J_b$ [ $\text{kg.m}^2$ ]	0
Délka rychloposuvu k [mm]	
Rychloposuv $v_r$ [m/min]	15



Obr. 12) Schéma suportu s KŠM - přepracované[3]

Tab 7) Tabulka výstupních hodnot pro podélný suport [2]

Statické vyhodnocení	Vyhovuje
Moment motoru statický potřebný k překonání zátěžných sil $M_s$ [Nm]	2.06
Kinematické vyhodnocení	Vyhovuje
Otáčky motoru potřebné k dosažení rychloposuvu $n_m$ [ $\text{min}^{-1}$ ]	3000

Převodový poměr $i$	1
<b>Dynamické hledisko</b>	<b>Vyhovuje</b>
Zrychlení rozběhu (doběhu) $a_r[m.s^{-2}]$	0,70
Čas rozběhu (doběhu) potřebný k dosažení rychloposuvu $t_r[s]$	0,36
Dráha rozběhu (doběhu) potřebná k dosažení rychloposuvu $s_r[m]$	44,7
Celková doba rychloposuvu $[s]$	

Tab 8) Tabulka výstupních hodnot pro příčný suport [3]

<b>Statické vyhodnocení</b>	<b>vyhovuje</b>
Moment motoru statický potřebný k překonání zátěžných sil $M_s[Nm]$	2.06
<b>Kinematické vyhodnocení</b>	<b>vyhovuje</b>
Otáčky motoru potřebné k dosažení rychloposuvu $n_m[min^{-1}]$	3000
Převodový poměr $i$	1
<b>Dynamické hledisko</b>	<b>Vyhovuje</b>
Zrychlení rozběhu (doběhu) $a_r[m.s^{-2}]$	0,70
Čas rozběhu (doběhu) potřebný k dosažení rychloposuvu $t_r[s]$	0,36
Dráha rozběhu (doběhu) potřebná k dosažení rychloposuvu $s_r[m]$	44,5
Celková doba rychloposuvu $[s]$	

Délky rychloposuvu se budou odvíjet od pracovního plánu, obr. 1). Časy pro jednotlivé operace dle výpočtového programu jsou:

RPV 20mm: 0,35 sec

PP 17mm soustružení: 1,8 sec

RP 96mm: 0,75 sec, zároveň probíhá: odaretování: 0,5 sec, přetočení: 1,5 sec, aretace: 0,5 sec

PP 3mm zapichování: 0,78 sec

RPZ 3mm: 0,15 sec

RPZ 112,8mm: 0,8 sec, zároveň probíhá: odaretování: 0,5 sec, přetočení: 1,5 sec, aretace: 0,5 sec

Přetáčení a aretace nástrojové hlavy probíhá během RP 96mm a RPZ 112,8mm. Další posuv neprobíhá, dokud není hlava přetočená a zaaretovaná. Celkový čas pro obrábění pak bude 8,08 sec. Tento čas je kratší jak čas pro manipulaci vně stroje, který trvá 9 sec. Je proto vhodné čas pro tuto manipulaci v rámci možností zkracovat, tím se zkrátí celý cyklus a to až do rozdílu času manipulace a času obrábění – o 0,92 sec na 19,08 sec.

Dále je třeba provést kontrolní výpočty. Stanovit zda maximální otáčky zvoleného kuličkového šroubu jsou větší jak ty, které budou potřeba pro posuv.

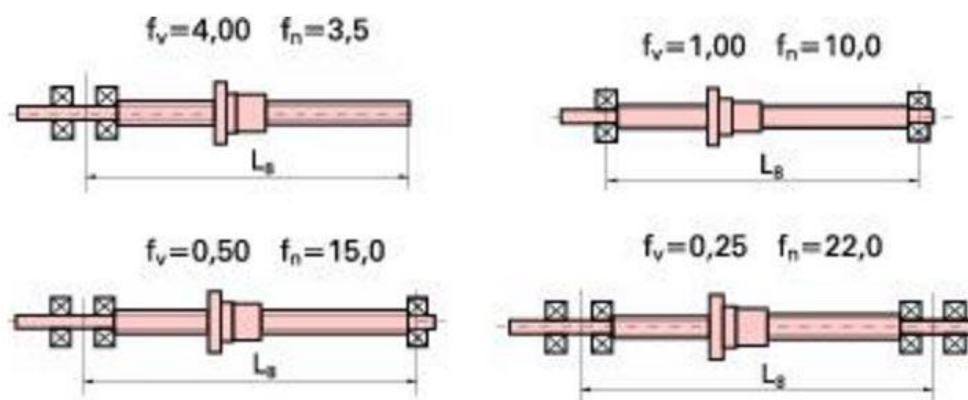
Výpočty dle KSK Kuřim. [4]

### Stanovení maximálních otáček hřídele KŠ (kuličkového šroubu)

Maximální otáčky lze vypočítat ze vztahu:

$$n_{max} = 0,8 \times n_{kr} \quad (1)$$

$$n_{kr} = \frac{1 \times 10^7 \times f_n \times d_0}{L_8^2} \quad (2)$$



Obr. 13) Možnosti uložení KŠ [3]

- $n_{max}$  maximální otáčky
- $n_{kr}$  kritické otáčky
- $f_n$  součinitel daný typem uložení hřídele, dle obrázku 1)
- $d_0$  jmenovitý průměr KŠ
- $L_8$  vzdálenost uložení hřídele

Kuličkový šroub příčného suportu

$$n_{kr1} = \frac{1 \times 10^7 \times 3,5 \times 32}{350^2} = 9140 \text{ min}^{-1}$$

$$n_{max1} = 0,8 \times 9140 = 7313 \text{ min}^{-1}$$

Maximální dovolené otáčky kuličkového šroubu příčného suportu jsou  $7313 \text{ min}^{-1}$ .

Kuličkový šroub podélného suportu

$$n_{kr2} = \frac{1 \times 10^7 \times 3,5 \times 32}{400^2} = 7000 \text{ min}^{-1}$$

$$n_{max2} = 0,8 \times 7000 = 5600 \text{ min}^{-1}$$

Maximální dovolené otáčky kuličkového šroubu podélného suportu jsou  $5600 \text{ min}^{-1}$ .

Kuličkový šroub pinoly

$$n_{kr3} = \frac{1 \times 10^7 \times 3,5 \times 32}{450^2} = 5530 \text{ min}^{-1}$$

$$n_{max3} = 0,8 \times 4480 = 4424 \text{ min}^{-1}$$

Maximální dovolené otáčky kuličkového šroubu pinoly jsou  $4424 \text{ min}^{-1}$ .

Vypočítané otáčky  $n = 3000 \text{ min}^{-1} < n_{max1}, n_{max2}, n_{max3}$

Otáčky kuličkových šroubů pro dosažení rychloposuvu nepřesahují maximální dovolené otáčky.

Stanovení maximálního axiálního zatížení vzhledem k vzpěrné tuhosti hřídele KŠ

$$F_{(a)max} = 0,33 \times Q_{kr} \quad (3)$$

$$Q_{kr} = \frac{\pi^3 \times 500 \times d_0^4}{f_v \times L_8^2} \quad (4)$$

$F_{(a)max}$  Maximální axiální zatížení

$Q_{kr}$  Kritická zatěžující axiální síla

$f_v$  součinitel daný typem uložení hřídele, dle obrázku 1)

Kuličkový šroub příčného suportu:

$$Q_{kr1} = \frac{\pi^3 \times 500 \times 32^4}{4 \times 350^2} = 33 \text{ kN}$$

$$F_{(a)max1} = 0,33 \times 33 = 10,9 \text{ kN}$$

Maximální dovolené axiální zatížení hřídele kuličkového šroubu příčného suportu je 10,9 kN.

Kuličkový šroub podélného suportu:

$$Q_{kr2} = \frac{\pi^3 \times 500 \times 32^4}{4 \times 400^2} = 25,3 \text{ kN}$$

$$F_{(a)max2} = 0,33 \times 25,3 = 8,3 \text{ kN}$$

Maximální dovolené axiální zatížení hřídele kuličkového šroubu příčného suportu je 8,3 kN.

Kuličkový šroub pinoly:

$$Q_{kr3} = \frac{\pi^3 \times 500 \times 32^4}{4 \times 450^2} = 20 \text{ kN}$$



$$F_{(a)max3} = 0,33 \times 20 = 6,6kN$$

Maximální dovolené axiální zatížení hřídele kuličkového šroubu pinoly je 6,6 kN.

Vypočítaná síla  $F_{(a)max} = 2000N < F_{(a)max1}, F_{(a)max2}, F_{(a)max3}$

Axiální zatížení kuličkového šroubu nepřesahuje vypočítané dovolené axiální zatížení.

## 7 NÁVRH KONCOVÉHO EFEKTORU

Dalším krokem v návrhu pracoviště bude návrh koncového efektoru. Tento krok je, jak již bylo zmíněno, nezbytný pro specifikaci robotu.

Na základě dané produktivity stroje bylo zvoleno, že se budou obrábět zároveň dva kusy. Tomu se musí přizpůsobit i koncový efektor robotu. Musí být schopen nést dva obrobky a ty založit do pracovního prostoru stroje. Před založením nových kusů však musí nejprve vyjmout kusy obrobené. Z tohoto plyne, že koncový efektor bude obsahovat celkem čtyři uchopovací zařízení. Ty budou umístěny ve vzdálenosti odpovídající vzdálenosti os vřeten v pracovním prostoru stroje.

V technickém zadání bylo uvedeno, že pracoviště bude koncipované na jeden typ obrobku, ale že má být přestavitelné i pro čepy o jiných rozměrech. Z toho vyplývá, že bude postačovat pouze jeden koncový efektor s upínacím zařízením navrženým pro daný obrobek. V případě změny obrobky jsou dvě základní možnosti – vyměnit celý koncový efektor nebo vyměnit pouze uchopovací zařízení. Vyměnit koncový efektor je snazší a časově méně náročné jak vyměnit čtyři uchopovací prvky. Na druhou stranu je to finančně méně výhodné, protože se musí vyrobit znovu celý efektor, ne pouze prvky pro uchop obrobku. Z hlediska pružnosti, je výhodnější co nejmenší přeseřizování. Zda se toto vyplatí či ne záleží především na tom, jak často se budou různé obrobky měnit. Toto není specifikováno v zadání, proto jsem toto rozhodnutí přenechala zákazníkovi, který rozhodl, že výměnné budou celé efekторы. Z toho vyplývá, že efektor bude na rameno robotu připojen výměnnou přírubou.

Výše zmíněné se dá shrnout do následujících prvků, které musí efektor obsahovat:

- 4 uchopovací zařízení
- výměnný adaptér

### 7.1 Cyklus robotu

Obsluha stroje umístí neobrobené výkovky do vstupního skluzu, který bude mít dvě paralelní dráhy, obrobky budou rozřazeny a přetočeny do vhodné nakládací pozice pro robot. Rozteč těchto drah bude odpovídat rozteči chapadel na koncovém efektoru a tím rozteči os vřeten. Na konci skluzu je robot vyjme svým chapadlem. Uchopí naráz dva kusy. Dvě chapadla tak budou prázdná a dvě obsazená. Poté zaveze obrobky do pracovního prostoru stroje, kde nejprve vyjme hotové kusy, které uchopí zbylými dvěma chapadly a poté založí nové kusy, které jsou následně upnuty mezi vřeteno a pinolu. Opět má dvě prázdná chapadla a dvě plná. Hotové obrobky odveze k výstupnímu skluzu. Ten má stejně jako vstupní skluz dvě paralelní dráhy. Robot obrobky vhodně natočí a upustí na skluz. Na konci skluzu jsou vyjmuty obsluhou stroje.

### 7.2 Uchopovací prvky

Robot má v pracovišti manipulační úlohu, uchopí předmět a přemístí jej na zvolené místo, tomu se musí přizpůsobit jeho koncový efektor. Uchopovaný předmět je válcový čep s kulovou hlavou. Jeho tvaru, materiálu a dalším vlastnostem se musí uchopovací prvek přizpůsobit.

Existují různé druhy uchopovacích zařízení:

- Mechanické

- Magnetické
- Podtlakové [5]

Dále je možno rozdělit chapadla na:

- Aktivní
- Pasivní [5]

Pasivní prvky, na rozdíl od aktivních, potřebují k uvolnění sílu zvenčí. [5].

Je třeba rozhodnout, který druh chapadla, je pro danou aplikaci nejvhodnější. V následujících podkapitolách jsou popsány aplikace jednotlivých druhů uchopovacích hlavíc pro danou úlohu. Každý druh je dále rozdělen na aktivní a pasivní.

Při volbě chapadla je třeba brát ohled na to, aby byl koncový efektor co nejmenší, tak, aby se snadno vyhnul všem překážkám. Dále by měl být lehký, aby nebylo nutné pořízovat robot s příliš velkou nosností. Dalším kritériem je snadná možnost výměny čelistí v případě jejich výměny po jejich opotřebení. Chapadlo musí mít krytí proti vniknutí kapaliny a odpadu z obrábění. Poslední a nemalou roli při výběru má cena.

### 7.2.1 Mechanické - pasivní

Obrobek je uchycen a přenesen do pracovního prostoru stroje, zde je potřeba vyvinout vnější sílu k sejmutí kusů. To může být například upnutí v upínacím prvku stroje nebo může být použit vyhazovač. Například pneumatický válec. Po opětovném uchopení a dopravení obrobku ke vstupnímu skluzu. Zde by bylo nutné opět vyvodit sílu k upuštění obrobku. Například opět vyhazovačem.

Obrobek váží 0,4 kg. Je vyroben z oceli. Pokud by došlo při pohybu ramene robotu k jeho vymrštění, hrozilo by vážné riziko zranění osob pohybujících se v blízkosti stroje. Aby byl dodržen takt, efektor s obrobky se pravděpodobně bude pohybovat nemalou rychlostí. Z tohoto důvodu je nutné obrobky uchytit velkou silou. Vyhazovač by musel působit silou ještě větší, aby ji překonal. Tak by mohlo docházet k mechanickému poškození obrobku či deformaci jeho tvaru.

Další podstatnou nevýhodou tohoto řešení je menší přesnost. Pružina nezajišťuje přesnou polohu obrobku a tím i přesnost umístění do pracovního prostoru stroje.

Z těchto důvodů tuto možnost zamítám.

### 7.2.2 Mechanické - aktivní

Obrobek je uchycen páry čelistí, které svým tvarem odpovídají obrobku. Jejich sevření a rozevření je vyvozeno motorem. Jsme schopni řídit a regulovat úchop. Tím je zaručena přesnost upnutí. Čelisti mohou konat translační či rotační pohyb. Stejně tak může být i pohyb vyvolaný motorem translační či rotační. Jedná se o čtyři možnosti. Pokud pohyb motoru a čelistí není shodný, je třeba mezi ně nutně vložit transformátor. Pro uchopení obrobku lze použít jak rotační, tak translační pohyb čelistí. [5]

Ovšem je třeba vzít v úvahu fakt, že obrobek bude v budoucnu měnit svůj průměr a proto rotační pohyb čelistí není vhodný. Osa rotace čelistí by se měnila podle průměru obrobku. K vykompenzování této vzdálenosti by bylo potřeba změnit program robotu anebo změnit délku koncového efektoru. Vzhledem k tomu, že měnit program robotu je přeseřizování navíc a měnit díly koncového efektoru není ekonomické, je výhodnější použít čelisti s lineárním pohybem. Zbývají proto už jen dvě možnosti – lineární ovládací pohyb s lineárním pohybem

čelistí a rotační pohyb s lineárním pohybem čelistí. Pohyb čelistí je daný. Zbývá zvolit ovládací pohyb, ten je vyvozován motorem. Může být hydraulický, pneumatický nebo elektrický.

#### Hydraulický

Hydraulický motor je schopný vyvozovat velké síly. Je vhodný pro silově náročnější aplikace. Pro tento případ by šlo o zbytečné dimenzování. Při použití příliš velkých sil by mohlo docházet k nežádoucí deformaci obrobku.

#### Elektrický

Elektrický motor použít lze. Dokonce umožňuje velmi dobré ovládání uchopovací síly. Ale pokud se vezme v potaz i vyšší pořizovací cena a vyšší hmotnost elektrického motoru, tak se jedná o nevýhodné řešení.

#### Pneumatický

Vzhledem k tomu, že zákazník má v hale centrální rozvod vzduchu, lze pneumatický motor použít. Jedná se o řešení poměrně jednoduché – stačil by použít pneumatický píst. Toto řešení také není příliš finančně náročné. Pneumatická chapadla jsou také vhodnější do podmínek pracovního prostředí, jako je zvýšená koncentrace prachových částic nebo zvýšená vlhkost. Také hlučnost je nižší.

Z výše uvedených argumentů vyplývá, že je výhodné použít pneumatický, lineární motor. Zbývá tak poslední varianta – lineární ovládací pohyb s lineárním pohybem čelistí.

### **7.2.3 Magnetické - pasivní**

Nevýhodou takovýchto úchopných prvků je, že nezaručují přesnost uchopení. Dále jsou to nevýhody plynoucí z vyjímání předmětů pomocí vnější síly. Další podstatnou překážkou použití tohoto zařízení je, že magnety přitahují všechny kovové předměty. Mohlo by se tak stát, že při uchopování předmětu by byla uchycena na chapadle i tříska z obrábění.

Z výše popsaných důvodů toto řešení nelze použít.

### **7.2.4 Magnetické - aktivní**

Toto řešení, stejně jako magnetické pasivní nezaručuje požadovanou přesnost upnutí a opět může zachycovat nechtěný kovový odpad. Po vypnutí proudu přiváděného elektromagnetu se sice obrobek uvolní a tím odstraňuje nevýhody spojené s uvolňováním obrobku, ovšem vzhledem k ostatním nevýhodám toto řešení není vhodné.

### **7.2.5 Podtlakové - aktivní**

Podtlakové úchopné prvky neboli přísavky jsou spíše vhodné pro rovinné předměty tvaru desek, nejsou vhodné pro rotační hřídelové součásti.

### **7.2.6 Podtlakové - pasivní**

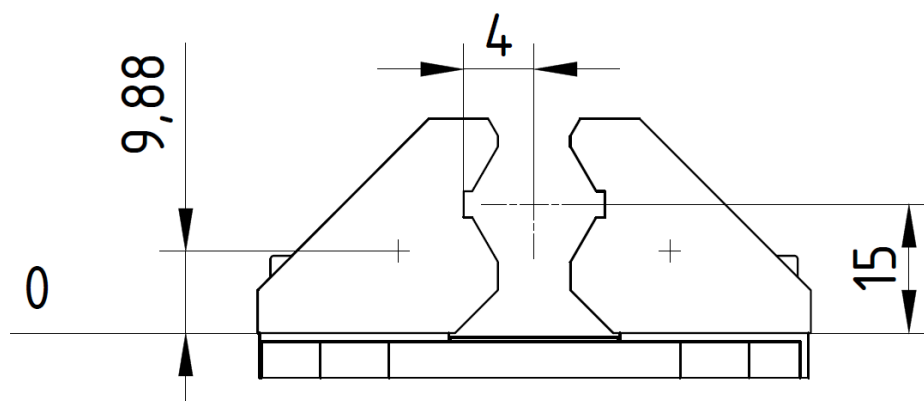
Stejně jako pasivní přísavky nejsou pro obrobek vhodné.

Z výše uvedeného plyne, že nejvhodnějším řešením jsou aktivní mechanické uchopovací prvky. Z důvodu zákaznickem předepsaných dodavatelů pneumatických prvků a firemních zkušeností, volím firmu FESTO.

Firma FESTO má na svých stránkách software který dle zadaných parametrů navrhne vhodné chapadlo. Podmínkou při výběru chapadla byla paralelní kinematika, nízká hmotnost a co nejmenší rozměry.

Bylo třeba znát vzdálenost těžiště obrobku a čelistí od nulové čáry, tyto vzdálenosti jsou naznačeny na obrázku 14) další údaje jako jsou:

- hmotnost obrobku:  $m = 400g$
- potřebný zdvih na čelist:  $z = 4 + 2 = 6mm$ , zdvih je naznačen na obrázku 4), 2mm jsou přídavek na uchopovací přesah
- největší translační zrychlení  $a = 20m/s^2$ , obvyklé maximální zrychlení pro tento typ robotů, reálné zrychlení pak bude omezeno na cca  $a_r = 2m/s^2$ , při výpočtu uchopovacích sil však použijí z hlediska bezpečnosti maximální
- poloha chapadla: *vertiální*, obrobek bude ve stroji upnut horizontálně a vyjímán bude svislým pohybem
- koeficient tření:  $f = 0.25$ , tento koeficient program vyhodnotil na základě zadání styčných materiálů: *kov-kov*
- koeficient bezpečnosti:  $s = 2$
- směr úchopu: *svírající*
- a další



Obr. 14) Vzdálenosti pro určení chapadla

Výsledkem byl seznam chapadel, která lze pro danou úlohu použít. U každého chapadla byly zobrazeny procenta softwarem vypočítaných sil, momentů a vzdáleností z maximálních možných. Mezi parametry, které rozhodovaly při výběru konkrétního chapadla ze seznamu, byla především co nejnížší hmotnost a rozměry, ne příliš velký zdvih a aby procentuální využití z maximálních možných sil, momentů a vzdáleností chapadla nebyly více jak 80%.

Zvolené chapadlo má označení HGPT-16-A-B-G2, váhu 0,58 kg a zdvih 6mm. Snímání polohy přibližovacím čidlem a pojištění síly úchopu uzavírací. Na obrázku 15) jsou zobrazeny softwarem vypočítané potřebné síly, momenty a vzdálenosti pro dané chapadlo.

#### Type

požadovaná přídržná statická síla

požadovaná přídržná dynamická síla

střední vzdálenost tlakových bodů

dynamická podélná síla na palcích chapadla

dynamický podélný moment  $M_x$

dynamický příčný moment  $M_y$

dynamický příčný moment  $M_z$

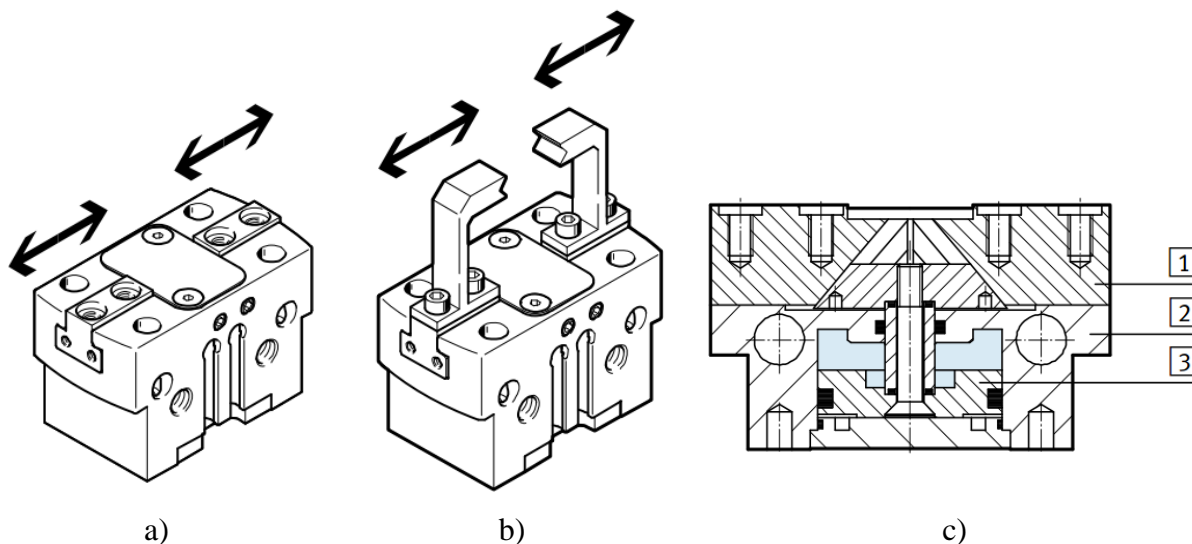
#### výsledky

#### max. možná

7.85	N	<div><div></div></div> 10%	72.03	N
9.45	N	<div><div></div></div> 13%	72.03	N
20	mm	<div><div></div></div> 40%	50	mm
2.82	N	<div><div></div></div> 2%	200	N
0	Nm		10	Nm
0	Nm	<div><div></div></div> 0%	12	Nm
0	Nm		10	Nm

Obr. 15) Tabulka výsledků softwaru FESTO [6]





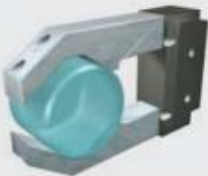







Chapadlo je zobrazeno na obrázku 16) a), kde je naznačen i směr pohybu čelistí. Chapadlo i s modelovými vnějšími čelistmi je na obrázku 16) b). Ovládací pohyb je vyvozován pneumatickým lineárním pístem, jak je naznačeno na obrázku 16) c).



Obr. 16) Pneumatické paralelní chapadlo HGPT-B firmy FESTO: a) chapadlo, b) chapadlo s vnějšími čelistmi, c) řez chapadlem: 1 – čelisti z tvrzené oceli, 2 – pouzdro z hliníkové slitiny, 3 - hliníkový píst [6]

Robot se bude v blízkosti míst vykládání a nakládání pohybovat translačně ve svislém směru. Mezi těmito místy se bude pohybovat PTP pohybem. To znamená, že robot sám zvolí nejrychlejší dráhu mezi zvolenými body. Jedná se o 6tiosý robot s rotačními vazbami, dráha bude mít pravděpodobně tvar prostorové křivky složené z oblouků. Zrychlení a rychlost lze odečíst ze simulačního softwaru ABB RobotStudio, tento program však nemám k dispozici. Maximální zrychlení robotu je uváděno bez zátěže, po zadání váhy koncového efektoru s obrobky tuto maximální rychlost přepočítá - bude menší. Pro kontrolní výpočet přitlačné síly použiji ne však tuto hodnotu, ale maximální. Vzorce pro výpočet jsem použila dle tabulky 9). Jedná se o výpočet nutných přitlačných sil pro translační pohyb chapadla ve třech osách kartézského systému ve třech orientacích chapadla.

Tab 9) Vzorce pro výpočet přitlačné síly na chapadlo [7]

		$F_G = m(a_z + g) \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{2\mu} S$	
		$F_{G,z} = mg \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{2\mu} S$	$F_{G,x} = ma_x \frac{\tan \frac{\alpha}{2}}{2\mu} S$
		$F_{G,z} = mg \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{2\mu} S$	$F_{G,y} = ma_y S$
		$F_G = m(a_z + g) \frac{\tan \frac{\alpha}{2}}{2} S$	
		$F_G = m \left( a_x + g \frac{\tan \frac{\alpha}{2}}{2} \right) S$	
		$F_{G,z} = mg \frac{\tan \frac{\alpha}{2}}{2} S$	$F_{G,y} = ma_y \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{2\mu} S$
		$F_G = m(a_z + g) S$	
		$F_G = m \left( g + a_x \frac{\tan \frac{\alpha}{2}}{2} \right) S$	
		$F_{G,z} = mg S$	$F_{G,y} = ma \frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{2\mu} S$

$F_g$  - přitlačná síla

$m$  - hmotnost obrobku

$a$  - je akcelerace ve směru pohybu chapadla

$g$  - tíhové zrychlení

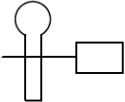



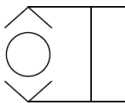







$S$  - bezpečnostní faktor

$\alpha$  - úhel rozevření čelistí

$\mu$  - koeficient tření

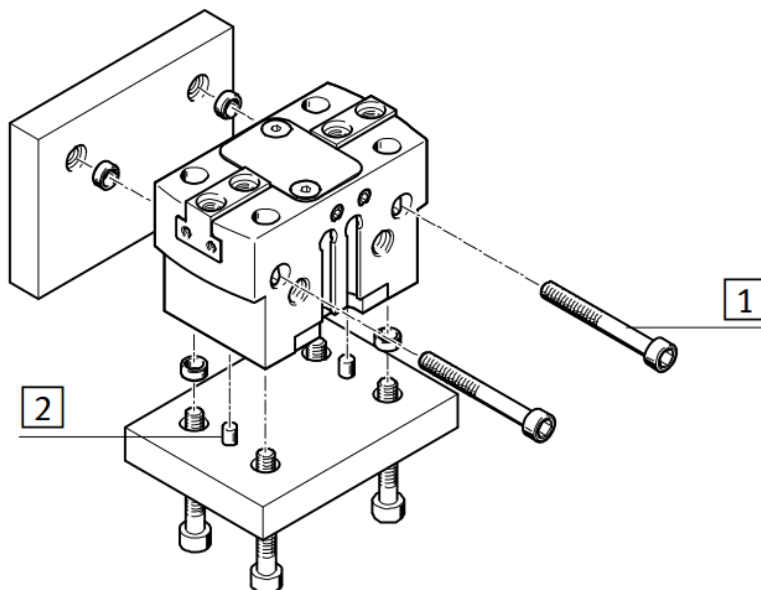
Výsledky výpočtů jsou zobrazeny v následující tabulce 10).

Tab 10) Výsledky výpočtu přitlačné síly chapadla

		<b><math>F_G = 35,8 \text{ N}</math></b>	
		$F_{G,z} = 11,8 \text{ N}$	$F_{G,x} = 27,6 \text{ N}$
		$F_{G,z} = 11,8 \text{ N}$	$F_{G,y} = 24 \text{ N}$
		$F_G = 10,3 \text{ N}$	
		$F_G = 27,4 \text{ N}$	
		$F_{G,z} = 3,4 \text{ N}$	$F_{G,y} = 24 \text{ N}$
		<b><math>F_G = 35,8 \text{ N}</math></b>	
		$F_G = 18,7 \text{ N}$	
		$F_{G,z} = 11,8 \text{ N}$	$F_{G,y} = 24 \text{ N}$

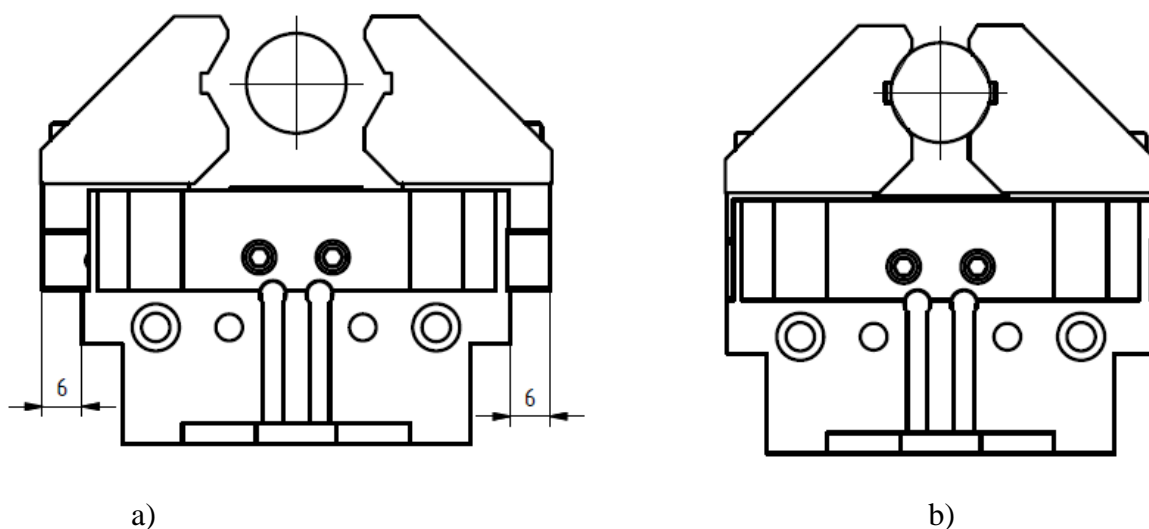
Zvolené chapadlo je pro maximální vypočítanou sílu při translačním pohybu  $F_G=35,8\text{N}$  dostačující.

Po zvolení chapadla, je třeba ho zakomponovat do koncového efektoru. Chapadlo lze montovat dvěma způsoby zobrazenými na obrázku 17).



Obr. 17) Montáž chapadla, 1 – montážní šrouby, 2 – centrační kolíky[6]

Pomocí simulace zavřených a otevřených čelistí s obrobkem se ověří funkčnost zařízení. Otevřené čelisti jsou naznačeny na obrázku 18) a), sevřené čelisti na obrázku 18) b). Čelisti v sevřeném stavu přesahují do obrobku. Tento přesah je nezbytný pro zaručení síly uchopení.

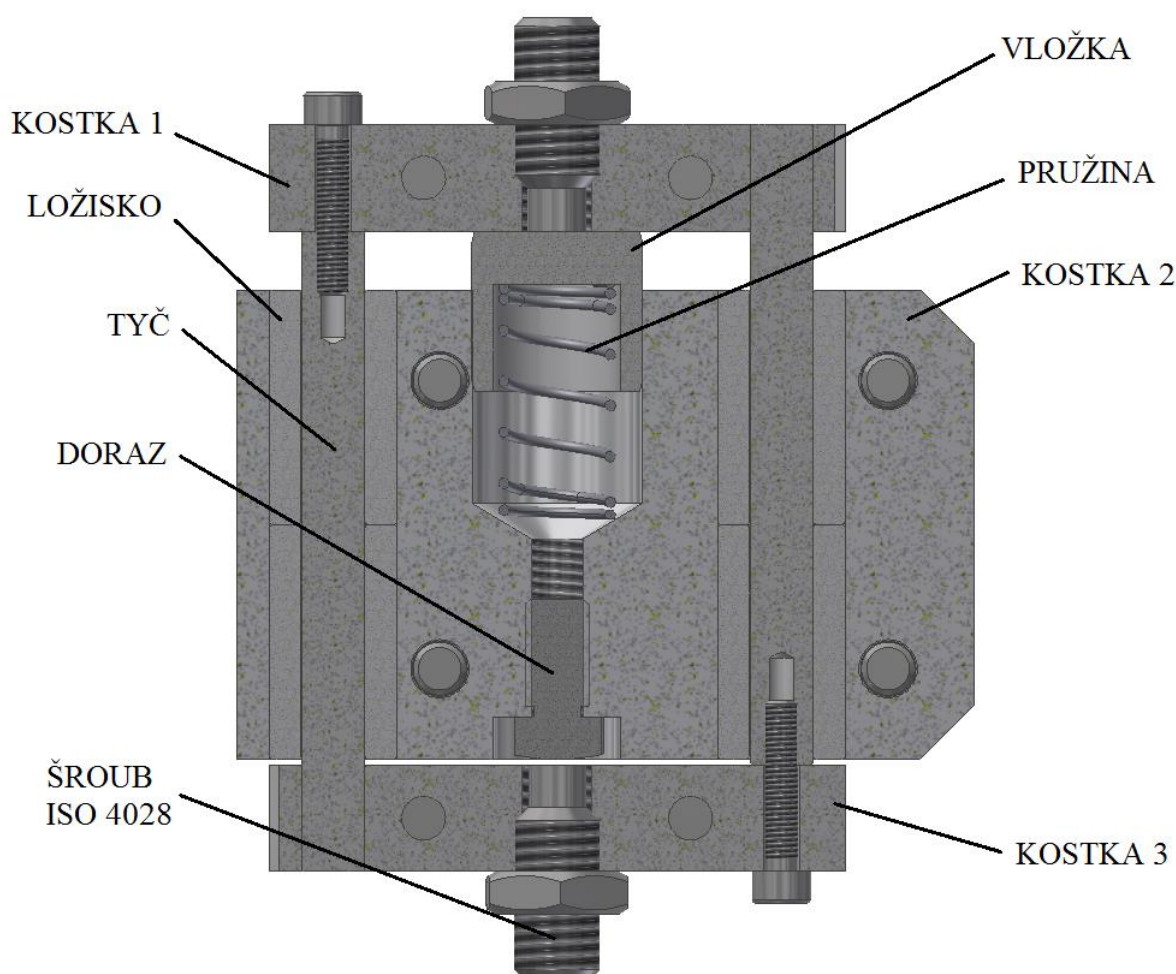


Obr. 18) Ověření funkčnosti uchopování: a) chapadlo v otevřeném stavu, b) chapadlo v sevřeném stavu



### 7.3 Mechanismus kompenzující pohyb obrobku

Chapadlo s čelistmi se připevňuje k desce koncového efektoru zespodu, dle obrázku 17). Když robot zakládá kusy do pracovního prostoru stroje, je obrobek nejprve zasunut do kleštiny, v kleštině je upnut, poté přijíždí k obrobku pinola, která ho dotlačí do kleštiny. Je potřeba koncovým efektem kompenzovat posuv obrobku ve směru jeho osy způsobené tímto dotlačením.. Mechanismus, který to bude umožňovat, se bude nacházet přímo pod chapadlem. Není však nutné tento mechanismus umisťovat pod všechny chapadla, ale pouze pod dvě. A to z toho důvodu, že zakládat do stroje budou stále dvě chapadla. Proto budou dvě chapadla přímo spojena s deskou koncového efektoru a dvě budou spojeny přes tento mechanismus, který je zobrazen v řezu na obrázku 19).

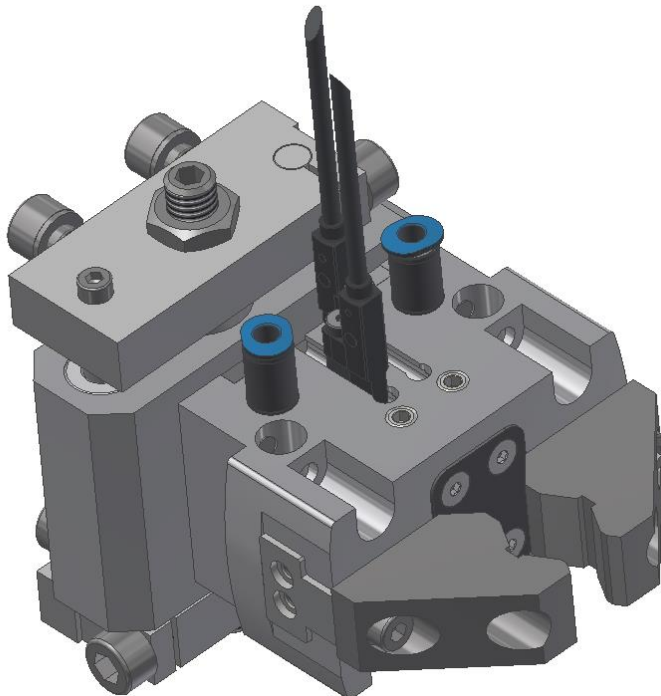


Obr. 19) Řez mechanismem umožňujícím pohyb chapadla ve směru osy obrobku [8]

Mechanismus je spojen s deskou koncového efektoru přes kostku 1 a kostku 3 šrouby. Tyto kostky jsou tak vůči desce nepohyblivé. Pohyblivá je kostka 2. Mechanismus je tvořen čtyřmi lineárními kuličkovými ložisky - KH 0622 PP. Ložisky prochází vodící tyč W6 60. Tato lineární kuličková ložiska spolu s vodící tyčí tvoří lineární vedení. V tomto lineárním vedení se pohybuje kostka 2. Rozsah pohybu je omezen dorazem a šroubem ISO 4028 - stavěcím šroubem s vnitřním šestihranem a čípkem. Návrat do původní polohy po vycentrování je zajištěn předepnutou pružinou. Ta je umístěna ve vložce, která je pružinou dotlačována na druhý stavěcí šroub s vnitřním šestihranem a čípkem. Otáčením tohoto šroubu

nastavují předepnutí pružiny. Vložka je v kostce 3 uložena s vůlí, a umožňuje tak její pohyb vůči této kostce.

Chapadlo je spojeno s tímto mechanismem přes kostku 2. Celý mechanismus s chapadlem je zobrazen na obrázku 20).

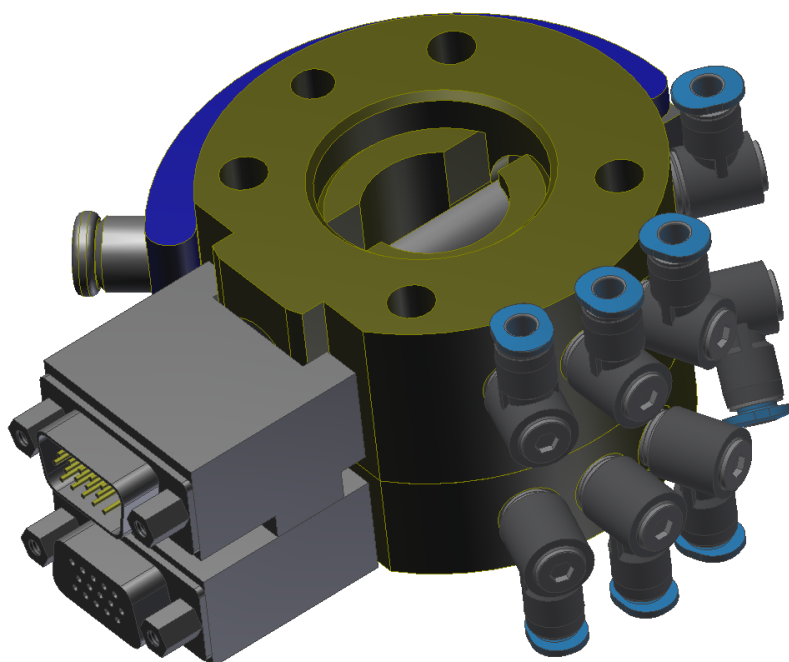


Obr. 20) Chapadlo s mechanismem umožňujícím kompenzovat pohyb obrobku [8]

#### 7.4 Výměnný adaptér

*Dvojice speciálních připojovacích přírub, které zabezpečují mechanické připojení a automatické upnutí efektoru, přívod tlakových médií, silového elektrického proudu a elektrických signálů pro řízení. [5]*

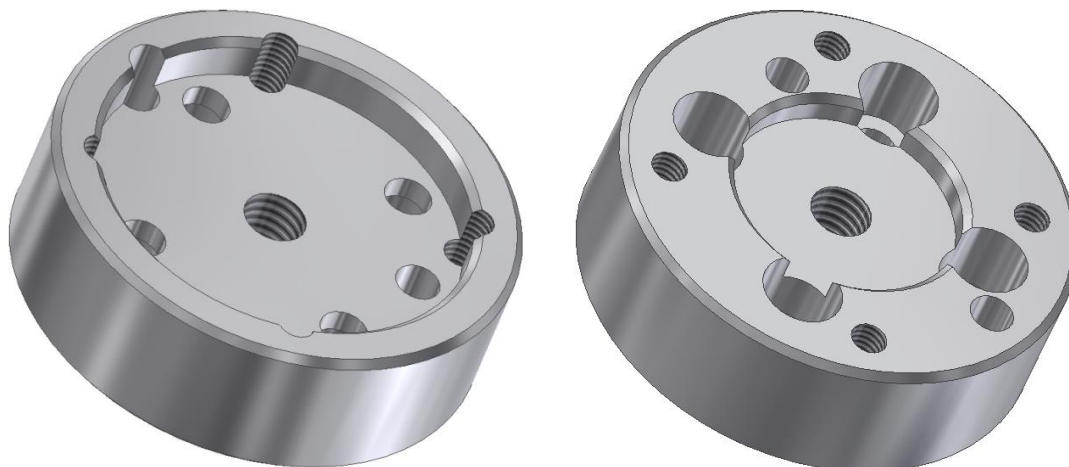
Volím adaptér SCHUNK HWK-050-000-000 a HWA-050-000-000 a elektrické moduly pro připojení elektrické kabeláže SWO-A15-A a SWO-A15-K. Tyto moduly umožňují přenos elektrických signálů a jsou kompatibilní s adaptérem. Adaptér má také otvory pro vedení vzduchu. Na obě části adaptéru se našroubuje nástrčné šroubení. Tento systém umožňuje rychle vyměnit koncový efektor i s přívody médií. Uspořádání prvků je vidět na následujícím obrázku.



Obr. 21) Výměnný adaptér SCHUNK s elektrickými moduly SCHUNK a nástrčným šroubením FESTO [8, 11]

## 7.5 Adaptér pro připojení k robotu

K připojení výměnného adaptéru k robotu je použit adaptér na obrázku 22).



Obr. 22) Adaptér pro připojení výměnného adaptéru k robotu [8]

Adaptér se pomocí centračního kroužku s vůlí nasadí na výměnný adaptér. Spojení je provedeno pomocí 4 šroubů. Vůle ve šroubových spojích však umožňuje rotaci kolem osy adaptéru. Tento stupeň volnosti je vymezen přesným kolíkem. Vzniká tak nepohyblivé spojení s přesně daným natočením koncového efektoru i po jeho výměně.

Spojení adaptéru s ramenem robotu je založeno na stejném principu. Pomocí 4 šroubů a jednoho přesného kolíku. Pro nasazení se ovšem nepoužívá centrační kroužek, ale adaptér

má vysoutržené zhloubení, které odpovídá vnějšímu průměru připojovacího konce ramene robotu.

Materiál adaptéru je dural. Výhodou tohoto materiálu je jeho nízká hmotnost. Důvodem k jeho použití je minimalizovat celkovou hmotnost koncového efektoru a tím nosnost robotu.

Při výrobě bude důležité dodržet přesnost geometrické tolerance polohy otvorů pro kolíky. Otvory budou broušené.

## 7.6 Připojovací deska

K připojení výměnného adaptéru ke koncovému efektoru je použita deska na následujícím obrázku.

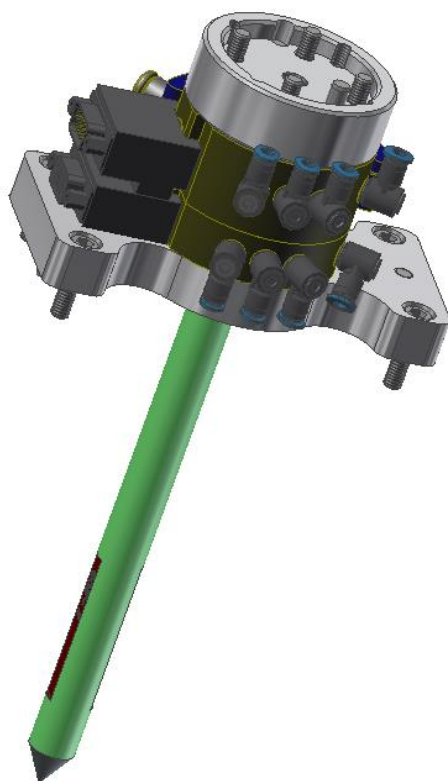


Obr. 23) Deska pro připojení výměnného adaptéru ke koncovému efektoru [8]

Nasazení desky na výměnný adaptér se při montáži provede pomocí centračního kroužku a spojení pomocí 4 šroubů a přesné natočení je zajištěno kolíkem. Ve středu desky bude našroubován kalibrační trn.

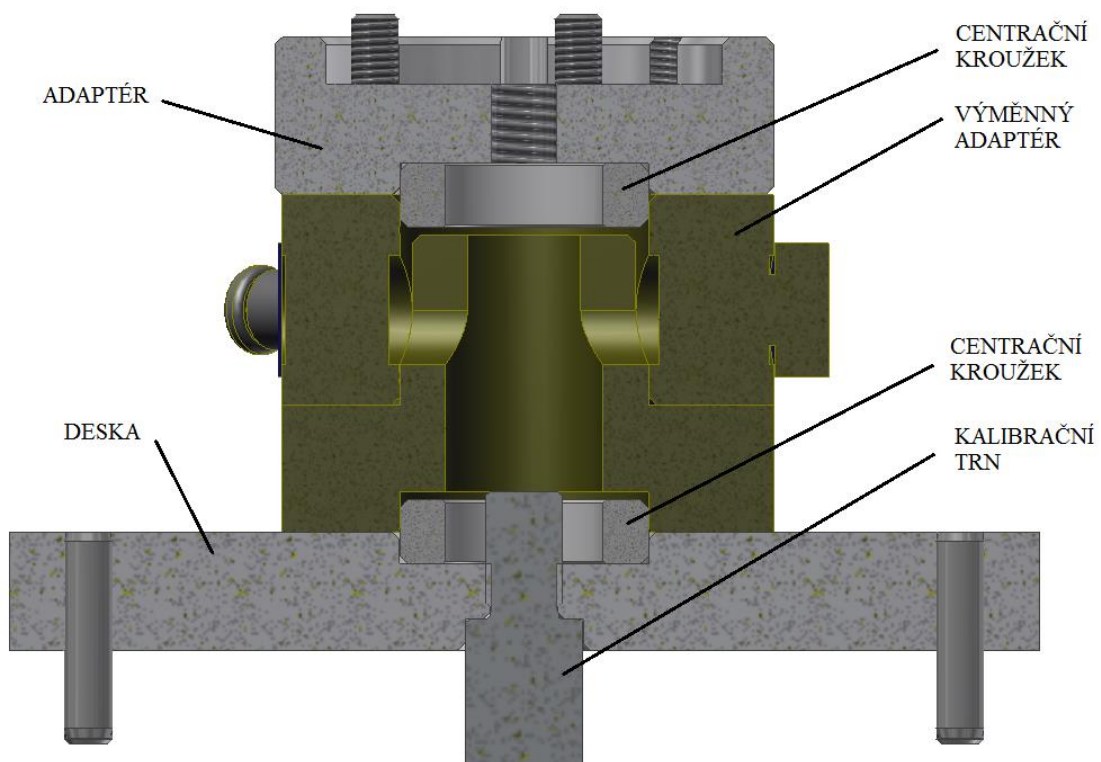
Materiál desky je opěr dural. Vnější kontura bude vyříznuta drátem. Tato metoda je vhodná pro složitější tvary, má přesný řez i na tlustších materiálech.

Model sestavy je vidět na obrázku 24).



Obr. 24) Model sestavy [8]

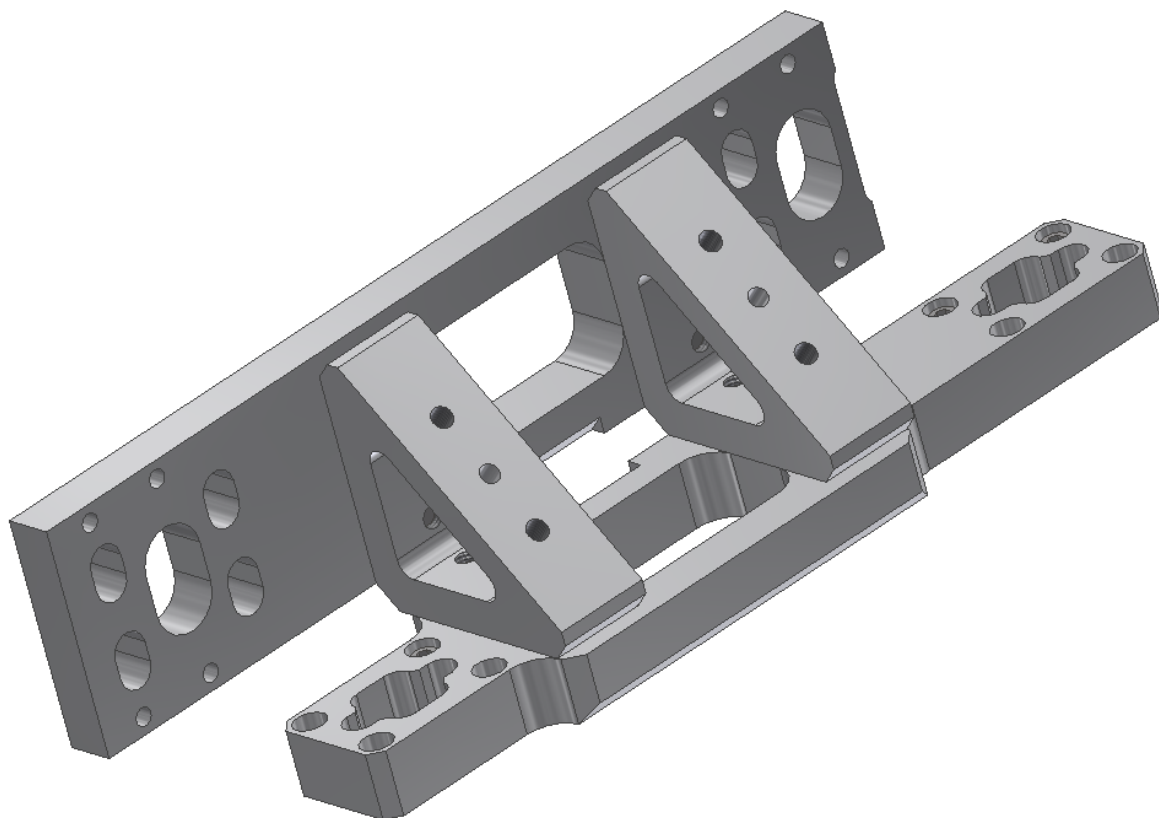
Na následujícím obrázku 25) je vidět řez sestavou s popsanými jednotlivými díly. Je z něj patrné umístění centračních kroužků.



Obr. 25) Řez sestavou [8]

## 7.7 Nosná deska - varianta 1

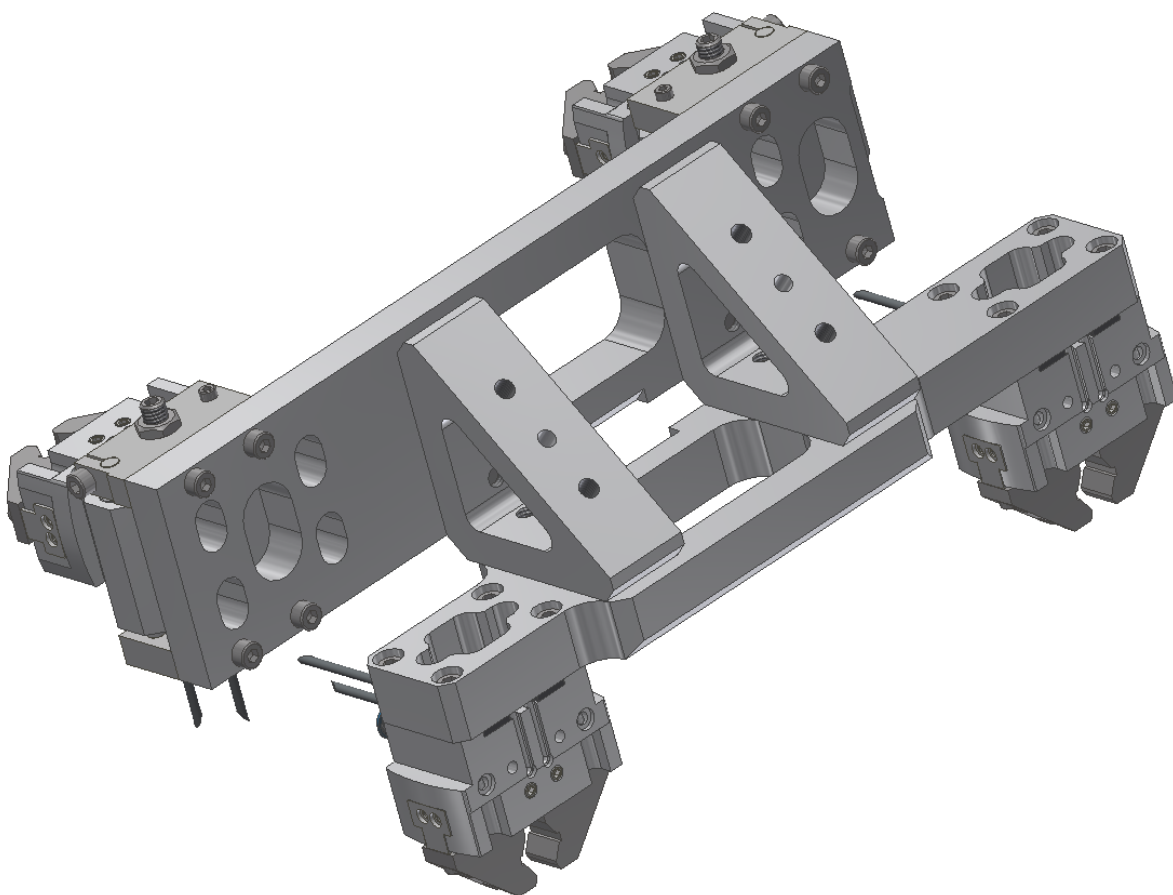
Při zakládání obrobků do stroje robot nejprve odebere 2 hotové kusy, poté přetočí koncový efektor o úhel  $90^\circ$  a založí 2 nové. Proto budou dvojice chapadel vůči sobě kolmé a navzájem paralelní. První navrženou variantou je použití dvou duralových desek. Každá z nich ponese dvě chapadla. Sestava je zobrazena na obrázku 26).



Obr. 26) Nosná deska - varianta 1 [8]

Každá deska obsahuje otvory pro připojení chapadla nebo mechanismu kompenzace pohybu obrobku a otvory pro odlehčení. V prostřední části desek je úkos pro lepší manipulaci s kalibračním trnem. Na obrázku 27) je zobrazena sestava této desky s chapadly.



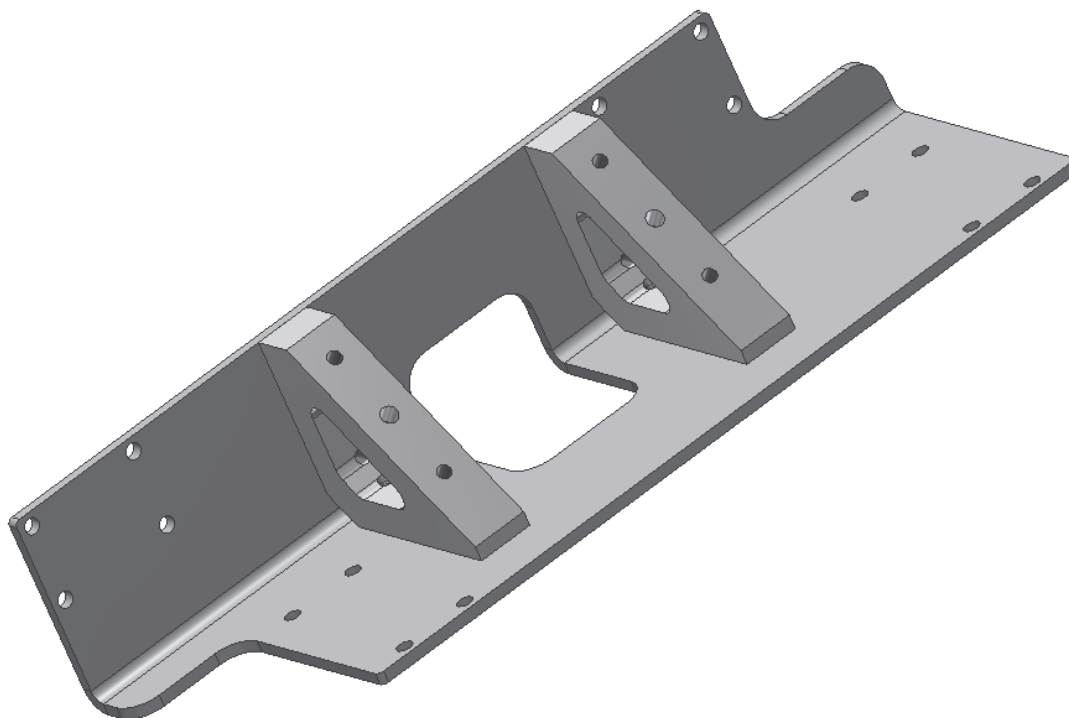


Obr. 27) Nosná deska s chapadly - varianta 1 [8]

## 7.8 Nosná deska - varianta 2

Druhou navrženou variantou je použití jednoho ohýbaného plechu namísto dvou desek. Polotovarem desky bude plech z duralu, jeho finální tvar před ohýbáním bude vyříznut na vodním paprsku. Deska bude obsahovat otvory pro připojení paralelních chapadel.

Na následujícím obrázku je zobrazen ohnutý plech spolu s trojúhelníkovými deskami, kterými je plech spojen s připojovací deskou.



Obr. 28) Nosná deska - varianta 2 [8]

Spojení jednotlivých kusů jsou provedena dvěma šrouby a jedním kolíkem vymezujícím vůli ve šroubových spojkách.

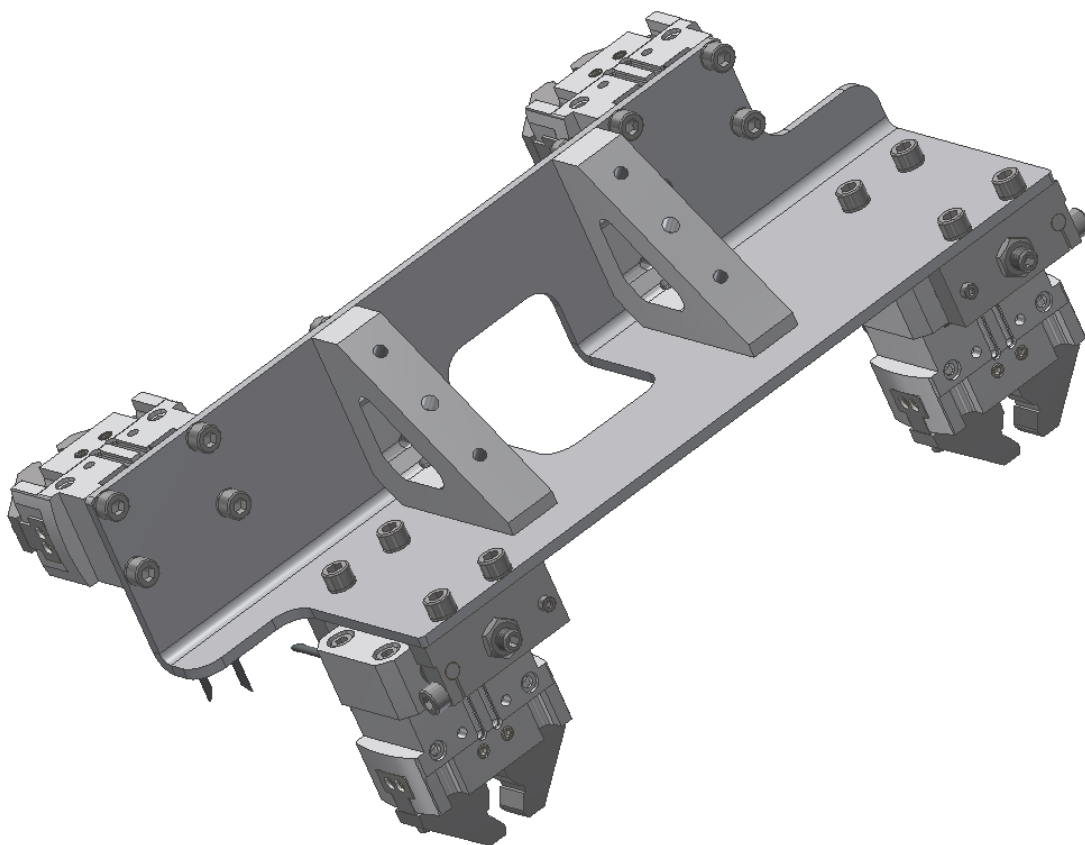
K nosné desce budou připevněna čtyři chapadla s čelistmi. Dvě budou připojena přímo a dvě budou připojena přes mechanismus kompenzující pohyb obrobku při jeho upínání do stroje. Aby nedocházelo k deformaci nosné desky, budou pod hlavy šroubů umístěny podložky. Sestava je zobrazena na obrázku 29).

## 7.9 Srovnání nosných desek

Varianta 1 je tvořena dvěma deskami, jejichž tvar lze vyříznout na vodním paprsku, plech z varianty 2 je nejen vyříznutý, ale i ohýbaný. Jeho tvar ovšem obsahuje pouze jeden odlehčovací otvor, zatímco desky jich obsahují více. Důvodem k většímu počtu těchto otvorů je větší váha, která je způsobena tloušťkou jinak lehkého materiálu - duralu. Výhodou ohnutého plechu (varianta 2) je jeho zvýšená tuhost vlivem ohybu. Tato tuhost je navíc zvýšena dvěma žebry trojúhelníkového tvaru. Tloušťka plechu tak nemusí být tak velká jako u varianty 1.

Funkční jsou obě varianty. Volím variantu 2 z důvodu nižší hmotnosti. Hmotnost varianty 1 je 1,8 kg a varianty 2 je 1,2 kg.



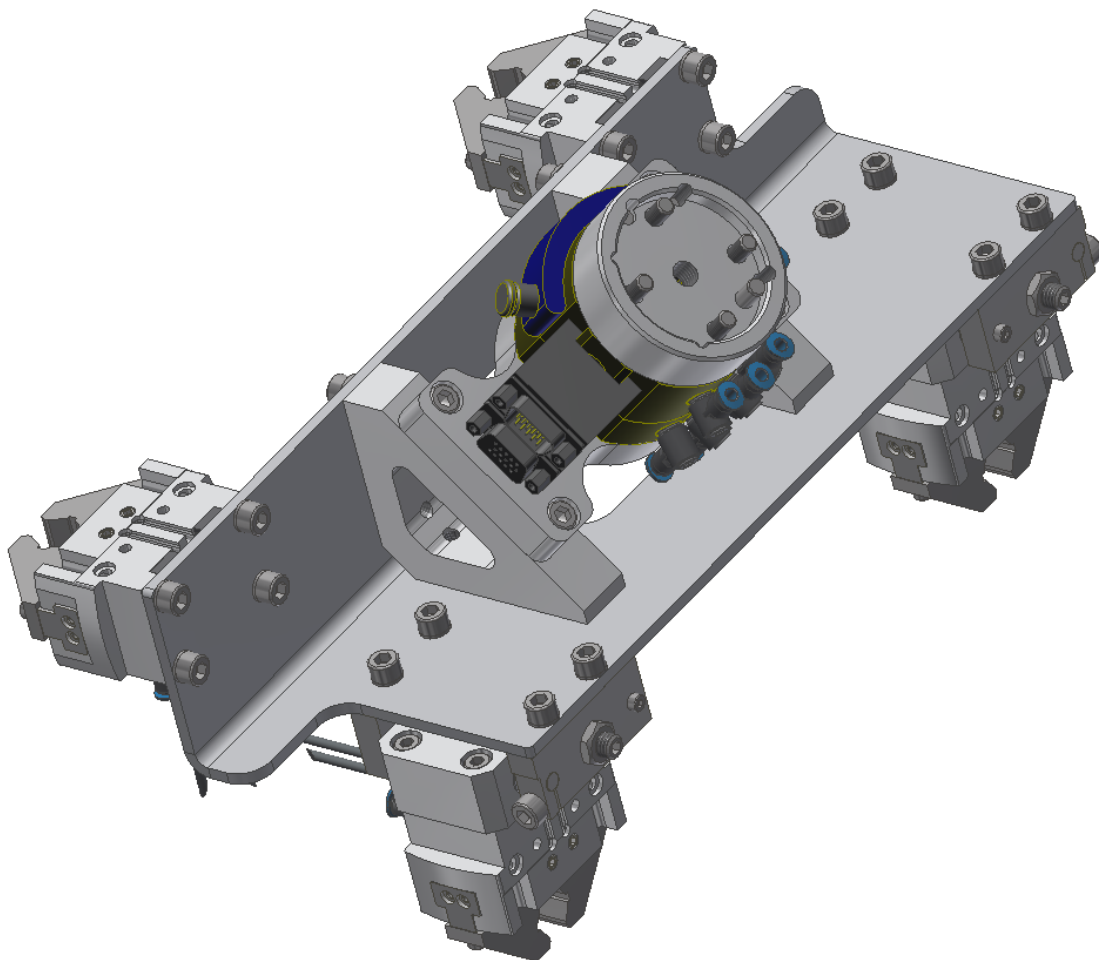


Obr. 29) Nosná deska s chapadly [8]

Dvojice chapadel neleží v jedné ose, jak je patrné z obrázku, a to z důvodu délky obrobku. Obrobky by do sebe v opačném případě narážely a deformovaly by jak sebe, tak čelisti a přenášely tyto síly do celého koncového efektoru. Tento rozdíl os je tak minimálně roven průměru válcové části obrobku.

## 7.10 Celková sestava

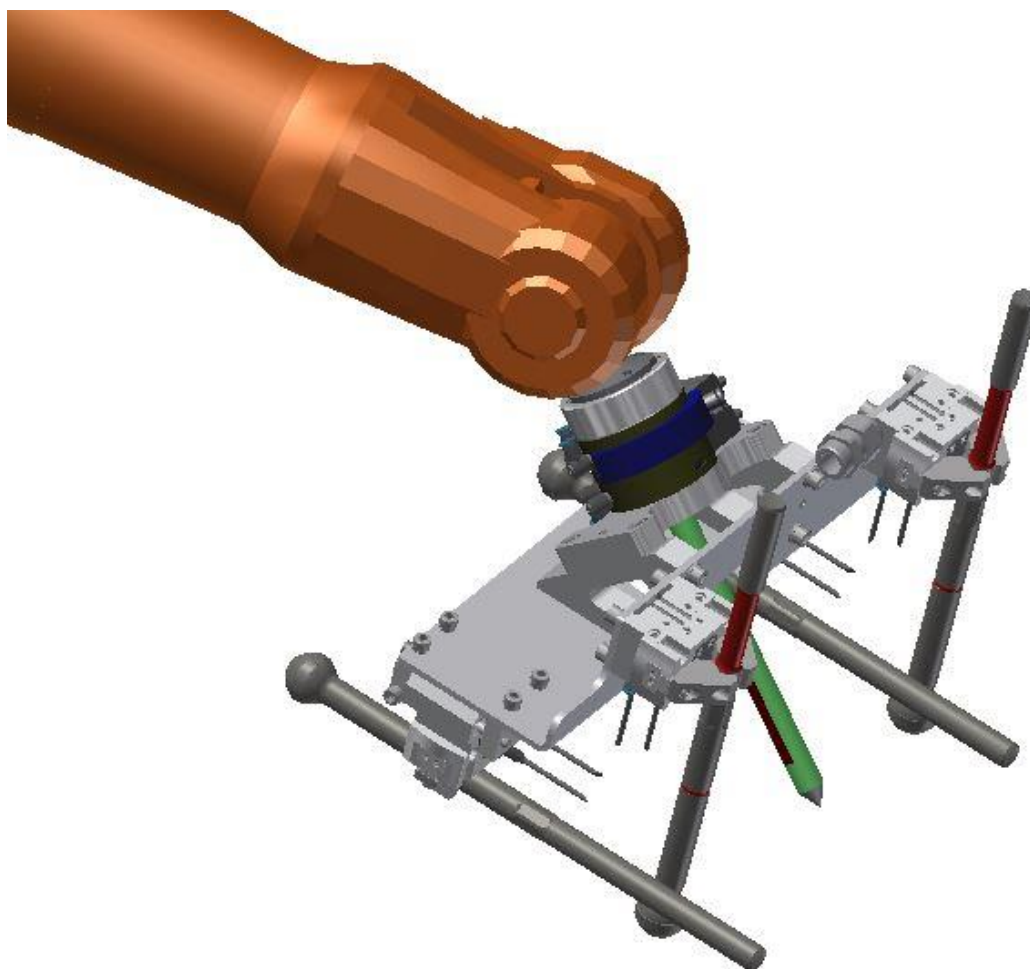
Model celkové sestavy je vidět na obrázku 30).



Obr. 30) Celková sestava koncového efektoru [8]

Váha této sestavy je 4,1 kg. Kalibrační trn bude na robotu připevněn pouze při kalibraci, během cyklu bude odmontován, ovšem s jeho váhou je třeba také počítat při určování nosnosti robotu. Efektor s obrobky pak bude vážit 5,7 kg.

Na dalším obrázku 31) je model efektoru s uchopenými obrobky. Jak je patrné z modelu, obrobky jsou vzájemně mimoběžné a je možné tak mít uchopené čtyři zároveň. V modelu je zároveň vidět způsob uchycení efektoru na robot pomocí příruby, která se přimontuje na konec ramene robotu. S touto přírubou se pevně spojí horní část výměnného adaptéru. Tyto dva díly budou trvalou součástí robotu a měnit se bude spodní část výměnného adaptéru spolu s dalšími částmi koncového efektoru. Výměna bude probíhat pomocí jednoduchého mechanismu ovládaného ruční pákou, která je součástí výměnného efektoru.

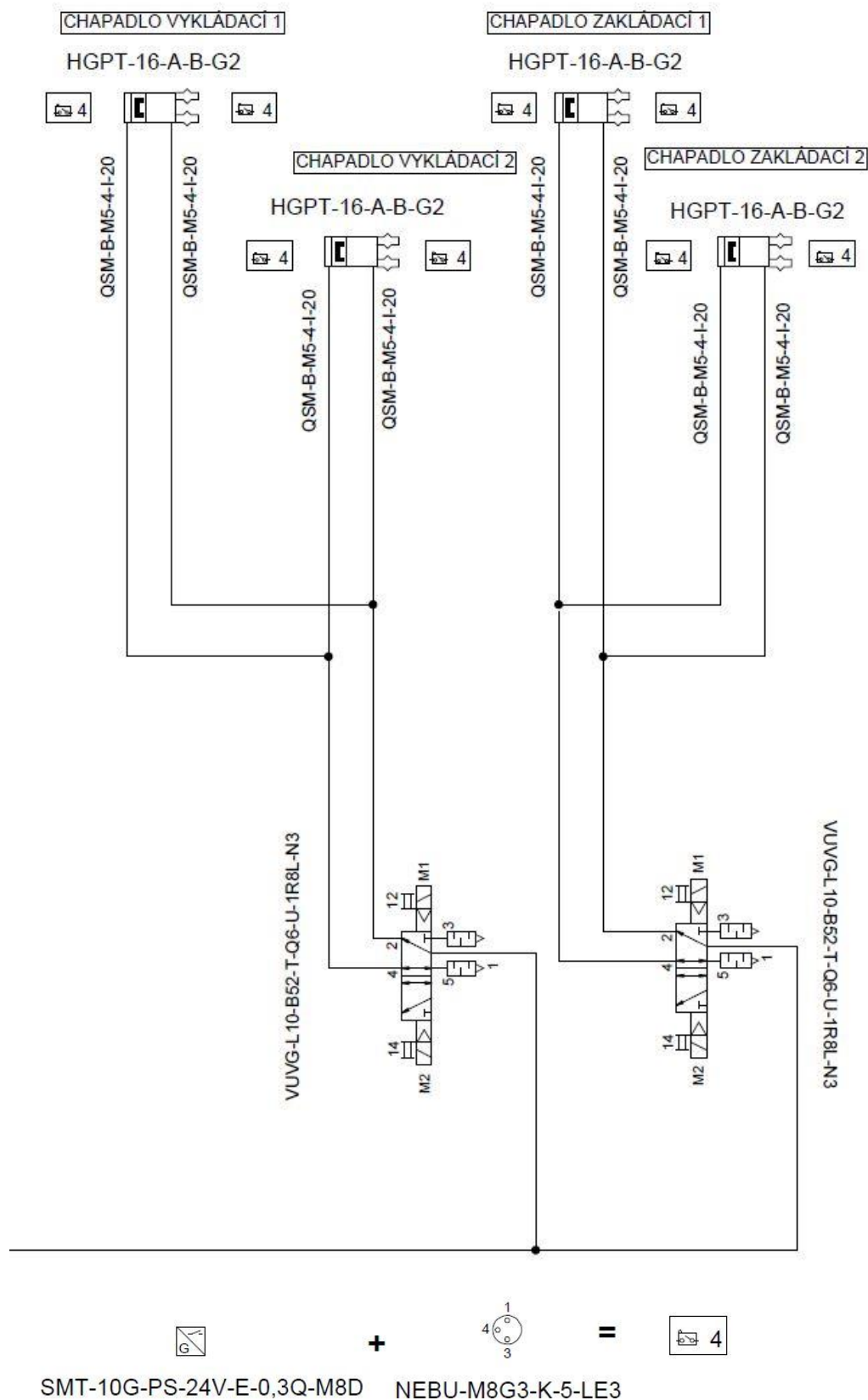


Obr. 31) Model koncového efektoru s obrobky [8]

### 7.11 Pneumatické schéma

Schéma zapojení je na obrázku 32). Jedná se pouze o výřez. Hadice pokračují dále do úpravny vzduchu. Každé ze čtyř chapadel HGPT mají dvě přímá nástrčná šroubení QSM pro připojení hadice. Chapadla mají integrovanou funkci pro pojištění uzavíracího úchopu při výpadku energií. Zpětné ventily jsou proto zbytečné. Také jednosměrné škrťací ventily nejsou nutné vzhledem k materiálu obrobku. Maximální rychlost úchopu je naopak žádoucí. Poloha čelistí je snímána pomocí bezkontaktních magnetických snímačů SMT. Jako spojovací vedení pro snímače slouží spojovací kabely NEBU. Pohyb čelistí je ovládaný elektromagnetickými ventily VUVG. Průměr hadic se volí na základě doporučených průměrů k daným pneumatickým chapadlům. Dále budou potřeba T-rozbočovače. Páry zakládacích a vykládacích chapadel budou ovládané jedním ventilem, je třeba tak jednu hadici rozdělit na dvě.

Hadice a kabely povedou do svorkovnice umístěné na posledním rameni robotu, kde budou umístěné i ventily. Odtud dále povedou skrz robot.



Obr. 32) Pneumatické schéma koncového efektoru robotu vytvořeného v programu FluidDraw firmy FESTO[6, 8]

## 7.12 Robot

Dle váhy plně naloženého koncového efektoru se určí typ průmyslového robotu. V případě změny obrobků, nahrazení současných těžšími, je vhodné ponechat rezervu. Pro dané pracoviště byl zvolen robot ABB IRB 1600 s nosností 10 kg a dosahem 1,45 m. Robot je vidět na následujícím obrázku.

Kalibrace robotu bude probíhat navedením kalibračního trnu na protikus - přesný kolík s kuželovým koncem umístěným v pracovišti. Umístění tohoto kolíku volí programátor robotu. Kalibrační trn je svým hrotem naveden na hrot pevného trnu a natáčí se koncový efektor, tak aby se hroty stále dotýkaly a aby vzájemně svíraly požadované úhly. Programování probíhá v souřadném systému Tool.

Dalším způsobem kalibrace by bylo upnutí trubky do čelistí robotu, nejprve do základacího chapadla a pak do vykládacího a vytvořit ne jeden, ale dva souřadné systémy Tool. Další možností je vytvořit středy souřadných systému na středu dvojic čelistí chapadel.

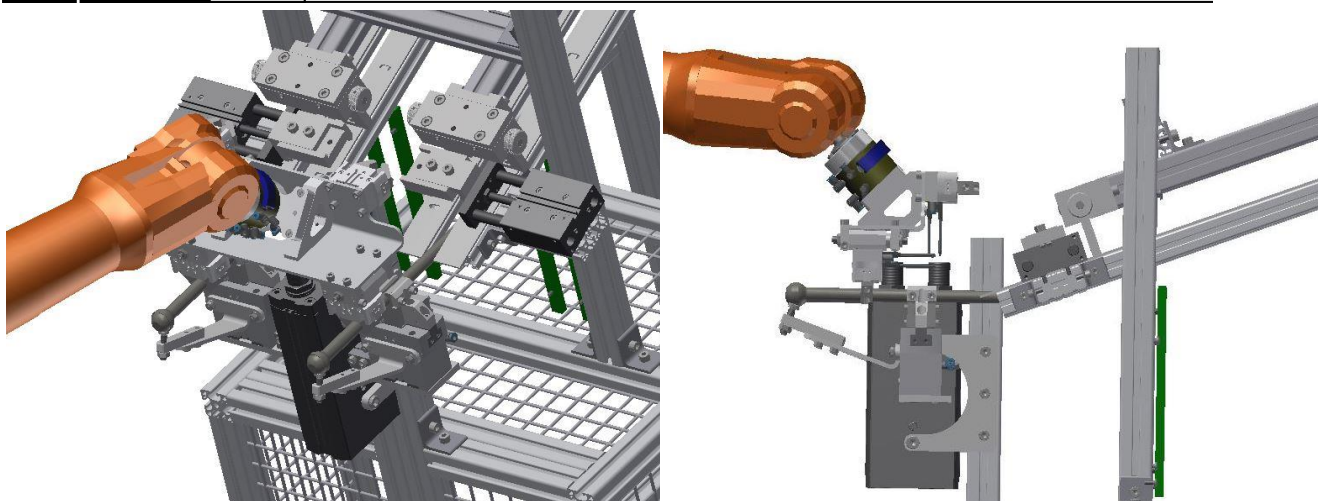


Obr. 33) Průmyslový robot ABB IRB 1600 [9]

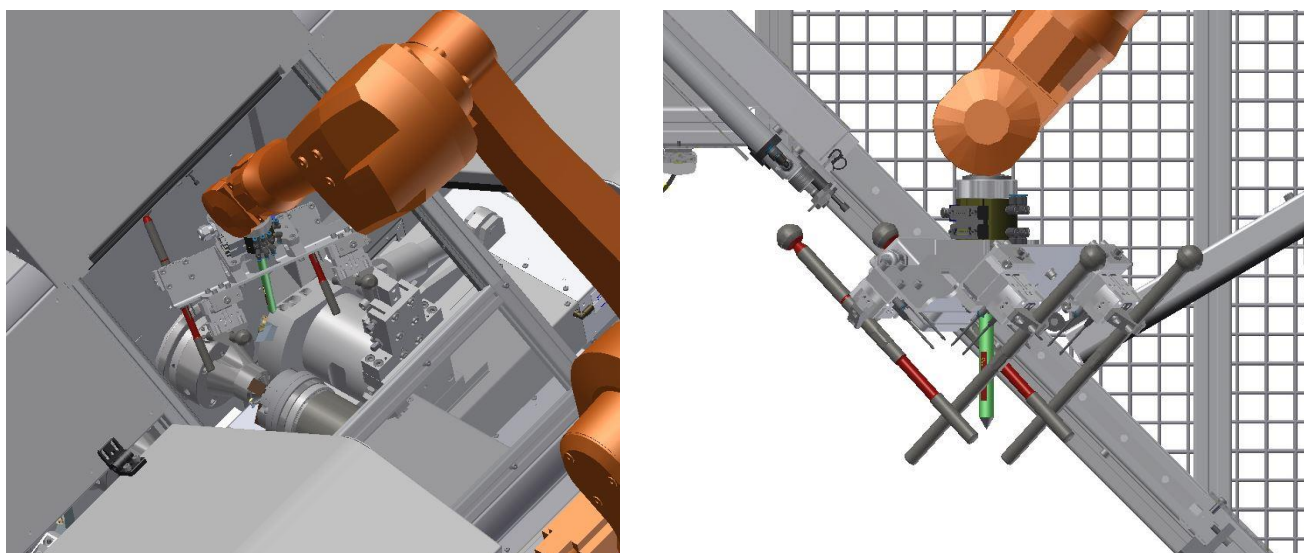
Po zvolení typu robotu, je třeba zkontrolovat jeho dosah, zda je dostačující pro vyložení kusů ze vstupního skluzu, založení do stroje a vyložení kusů do výstupního skluzu. Tyto polohy robotu se simulovali v celkovém modelu. Na následujících obrázcích je vidět nejprve vykládání polotovarů ze vstupního skluzu (obr. 34), poté zavážení polotovarů do pracovního prostoru stroje (obr. 35) a nakonec upouštění obrobků nad výstupním skluzem (obr. 36).

Dle kontroly robot dosáhne na požadovaná místa. Navržený dosah je dostačující.

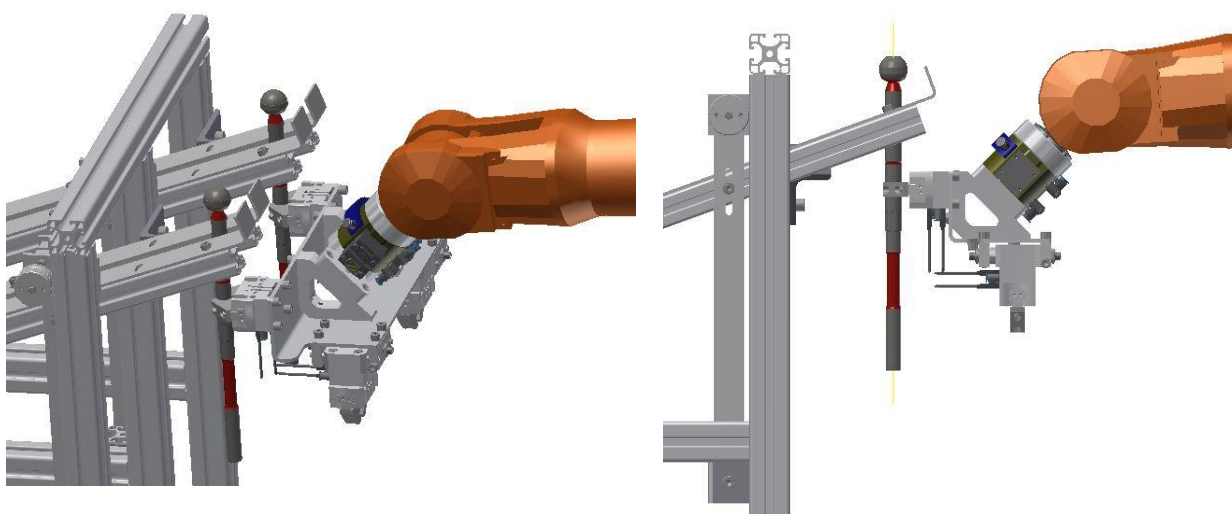




Obr. 34) Vyložení ze vstupního skluzu [8]



Obr. 35) Založení do stroje [8]



Obr. 36) Vyložení do výstupního skluzu [8]

## 8 BEZPEČNOST

Zpracování analýzy rizik není součástí této práce. Ovšem bezpečnost je třeba brát v potaz už od samotného počátku při navrhování stroje a následně pak při jeho konstrukci. V této kapitole proto budou popsána jednotlivá opatření sloužící k minimalizaci vzniku nebezpečných situací.

### 8.1 Nebezpečí spojená s průmyslovým robotem

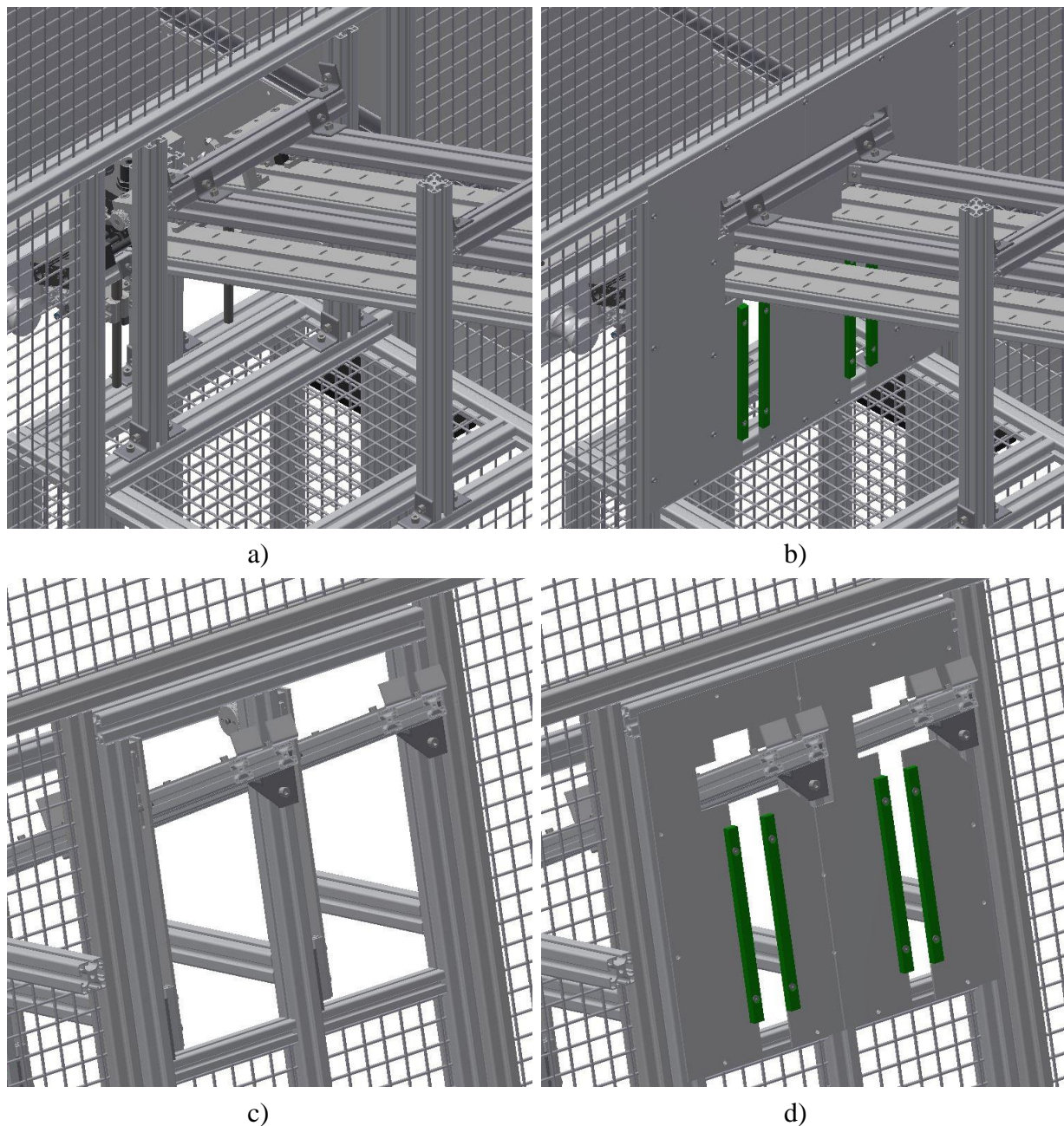
Průmyslový robot, pokud není kolaborativní, nesmí při práci v automatickém cyklu přijít do kontaktu s člověkem. Kolem pracoviště je proto umístěno pletivo, které zamezuje obsluze příliš se přiblížit k pohybujícímu se robotu. Pletivo je zobrazeno na obrázku 37). Dosah průmyslového robotu je omezen v jednotlivých osách tak, aby nepřesahoval pletivo a nekolidoval s kabinou stroje.



Obr. 37) Oplocení pracoviště [8]



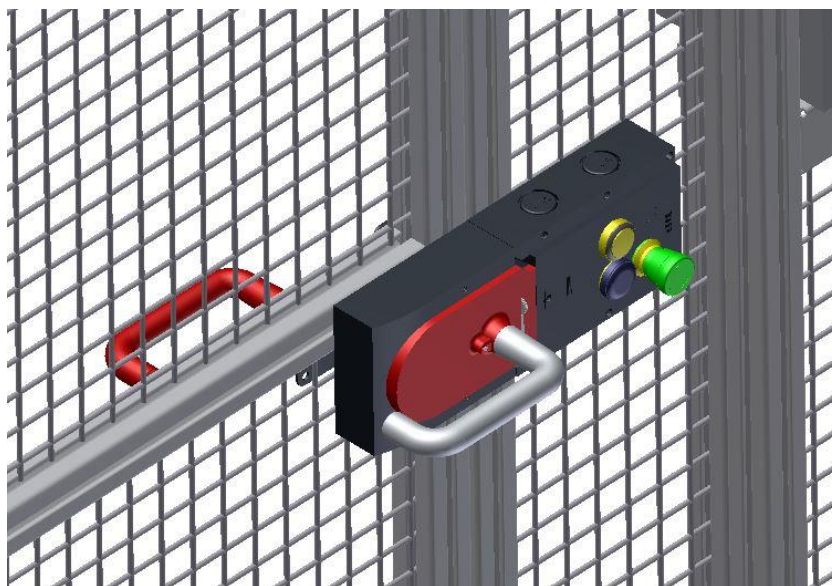
V místě nakládání a vykládání kusů jsou mezery vzniklé mezi skluzy a oplocením pracoviště zakryté plechy s co nejmenšími nutnými otvory pro obrobky. Na obrázku 38) a) je pohled na vstupní skluz bez krytů a na obrázku 38) b) na vstupní skluz s kryty. Na obrázcích 38) b) a 38) d) jsou ty samé pohledy, ale s kryty.



Obr. 38) Skluz a) vstupní bez krytování, b) vstupní s krytování, c) výstupní bez krytování, d) výstupní s krytování [8]



Průmyslový robot se nerozjede v automatickém cyklu, když jsou otevřeny jedny z dveří. Robot lze spustit pouze v ručním režimu se sníženou rychlostí. Dveře jsou jištěny bezpečnostním zámkem, zobrazeným na obrázku 39).



Obr. 39) Bezpečnostní zámek firmy Euchner [8, 10]

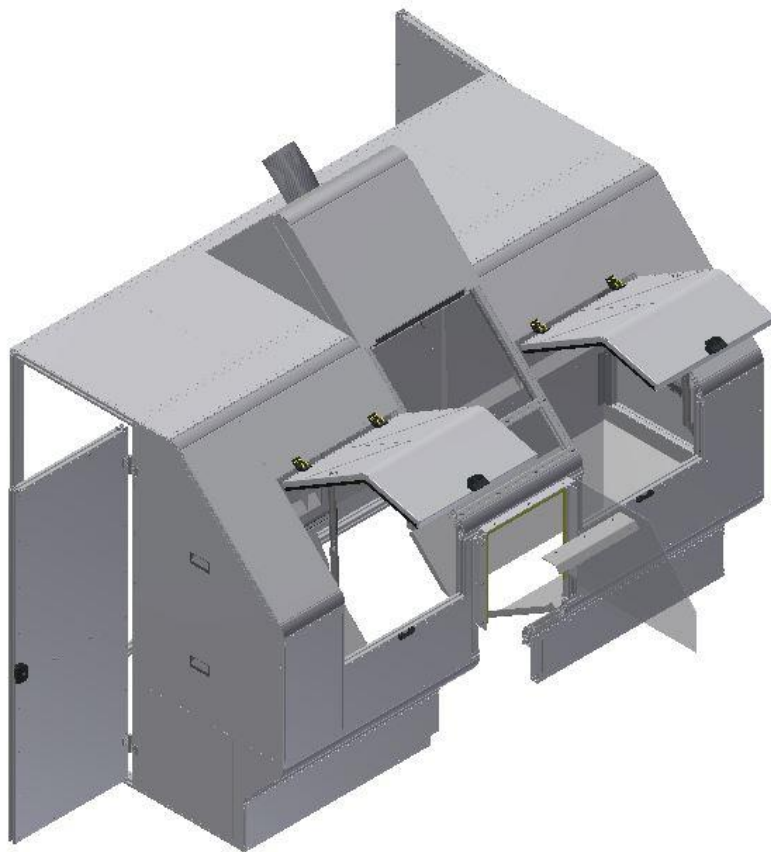
Tyto zámkové mechanismy jsou z vnitřní strany stále odemčené, čímž umožňují případný nouzový únik obsluhy z pracoviště. Při vstupu do pracoviště je obsluha zajistí mechanickými zámkem, zabráněním jejich uzavření, zatímco se osoba stále nachází v nebezpečném prostoru.

Dalším nebezpečím, které může nastat, je vymrštění obrobku z čelistí robotu. Jako opatření proti tomuto je použit tlakový spínač, který neumožní spuštění automatického cyklu, pokud nebude tlak dostatečný a zámek na chapadle, který i v případě výpadku udrží tlak na chapadle.

## 8.2 Nebezpečí spojená se soustružicím strojem

Stejně jako v případě robotu, soustružicí stroj nelze spustit v automatickém režimu, když jsou otevřené dveře. To zabráně spuštění stroje, dokud se v pracovišti nachází osoba. Vřetena a posuvové jednotky lze spustit pouze v ručním režimu.

Přístupu do stroje je zamezeno kabinou s kryty okolo pracovního prostoru stroje. Kabina je zobrazena na obrázku 40). Dveře na kabině stroje jsou odemykatelné pouze speciálním klíčem, aby se zabránilo přístupu do pracovního prostoru stroje nepovolaným osobám.



Obr. 40) Kabina stroje [8]

## 9 NÁVOD PRO OBSLUHU STROJE

Součástí každého zařízení musí být návod k jeho užívání. Stejně tak bude zároveň s pracovištěm dodán návod pro obsluhu stroje. Kompletní návod obsahuje dokumentaci sestavných, opotřebitelných a kritických výkresů. Dále seznam nakupovaných položek a dílčí návody k nim. Pneumatické schéma, schéma chlazení, schéma hydrauliky. Popis stroje s jeho charakteristikami a uvedením do provozu. Pokyny pro bezpečnost se seznamem zbytkových rizik. Ošetřování a údržba stroje a další. V této kapitole je podrobněji rozepsáno zapnutí stroje a podmínky pro jeho spuštění do automatického cyklu a vypnutí stroje.

### 9.1 Zapnutí stroje

Nejprve je třeba se ujistit, zda je kabina stroje uzavřena, zda žádný kryt není odmontovaný. Automatický cyklus lze spustit, pouze pokud je pneumaticky ovládaný kryt stroje uzavřen a pokud jsou bezpečnostní zámky na dveřích oplocení uzamčené. Pokud je pracoviště delší dobu mimo provoz, je potřeba zkontrolovat zda mazání funguje správně. Před uvedením do provozu je nutné být dostatečně seznámen s návodem k obsluze a zapamatovat si umístění tlačítek nouzového zastavení stroje.

Nejprve se stroj zapne hlavním spínačem, poté se na ovládacím panelu stiskne tlačítko Start řízení a zapne se přívod médií. Robot se nejprve zastaví, resetuje a poté se nastartuje. Po zapnutí všech částí stroje se sepne tlačítko Základní poloha. To způsobí, že robot přejede do své Home pozice a stejně tak všechny manipulátory a pinola. Chapadla a sklícidlo se otevrou. Po najezení do základní polohy lze spustit automatický cyklus a tlačítkem Start cyklu spustit automatický chod pracoviště.

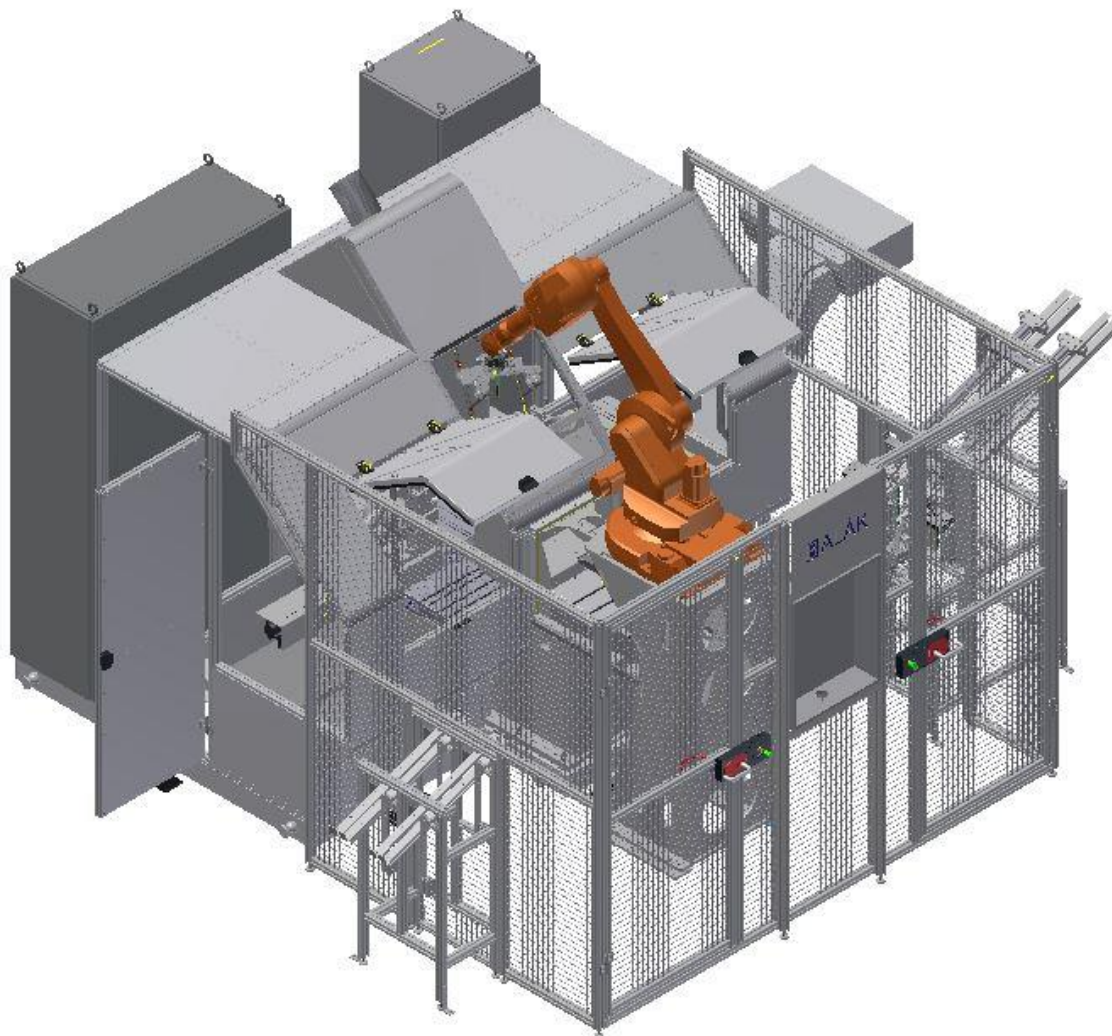
### 9.2 Vypnutí stroje

Vypnutí stroje standardním způsobem probíhá tak, že se na ovládacím panelu stiskne tlačítko Stop cyklu. Je dokončen zahájený cyklus. Poté lze přepnout automatický cyklus na ruční. Pak je možné odemknout bezpečnostní zámky a vstoupit do prostoru pracoviště.

V případě ohrožení zdraví či stroje lze celé pracoviště okamžitě vypnout pomocí nouzového tlačítka Total stop.

## 10 ZHODNOCENÍ A DISKUZE

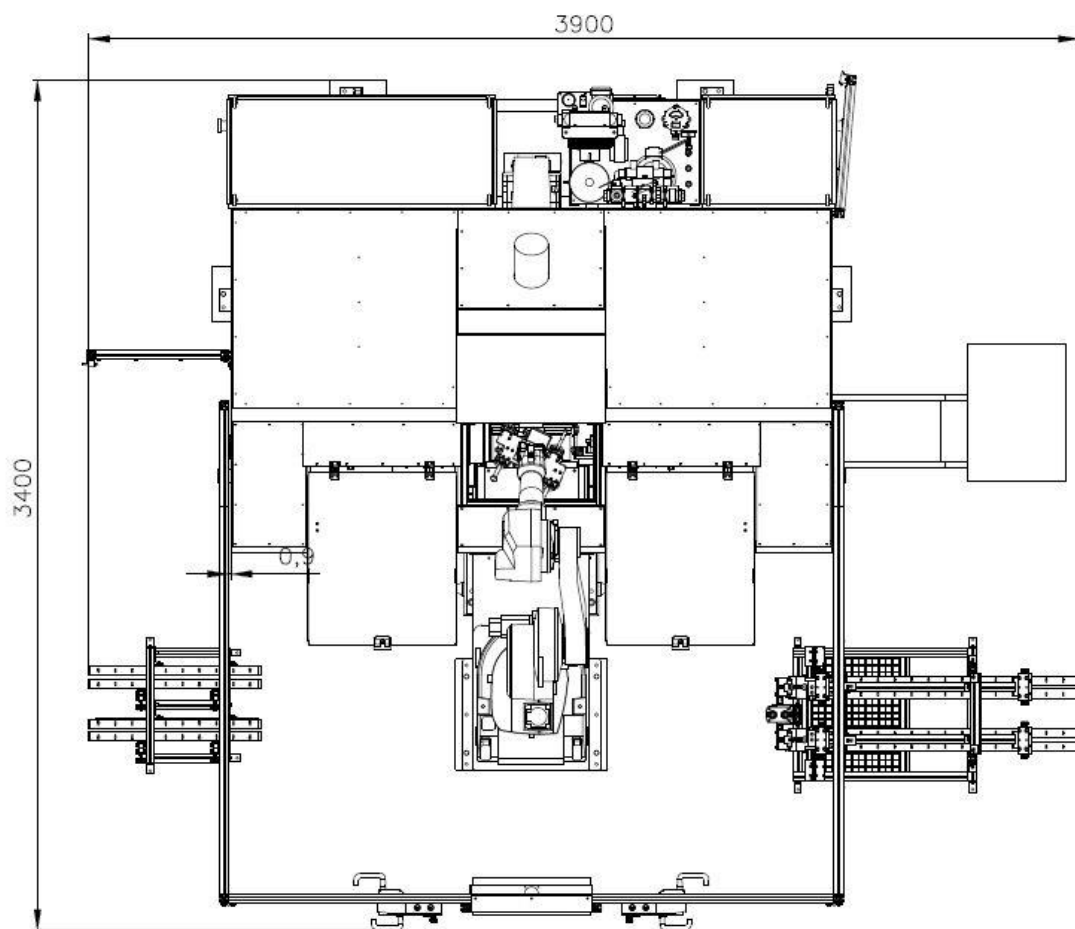
V kapitole 3 ZADÁNÍ byly definované požadavky na pracoviště. Především bylo potřeba, aby stroj plnil svoji funkci a vyráběl zadané obrobky. V dalších kapitolách byla navržena koncepce stroje tak, aby bylo tohoto dosaženo. Dle této koncepce byl stroj pracovníky ve firmě rozpracován a nakreslen. Jeho 3D model je na obrázku.



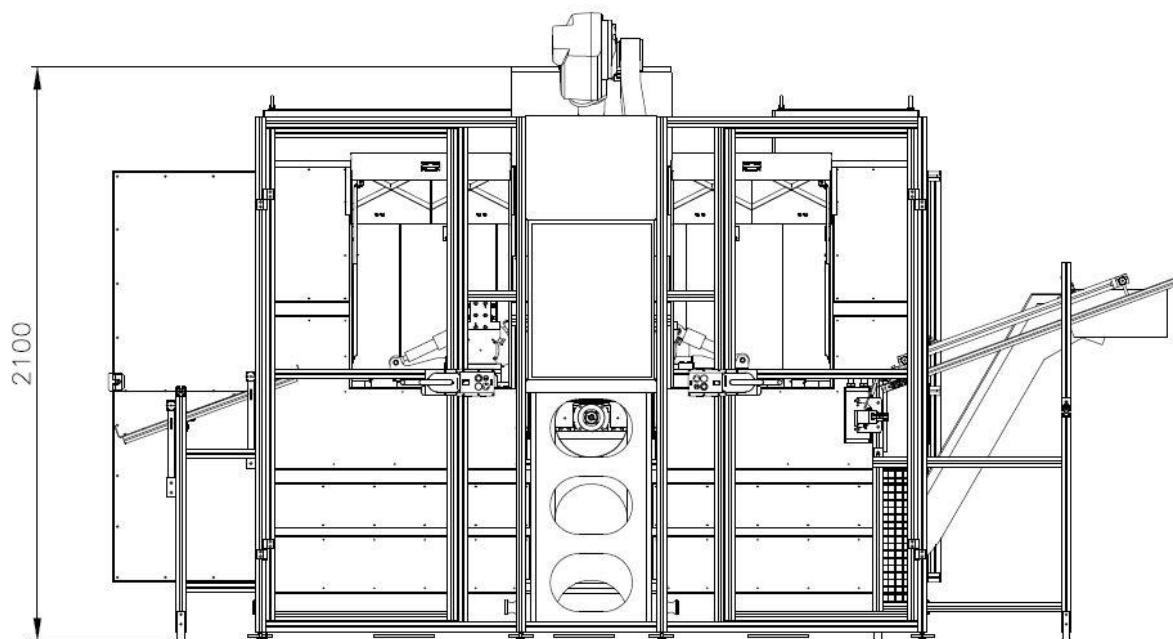
Obr. 41) Sestava pracoviště [8]

Pracoviště je vydané a je ve fázi montáže.

Dalším požadavkem na pracoviště byly zástavbové rozměry, které bylo nutné dodržet. Tyto rozměry byly definované na obrázku 3). Na následujících dvou obrázcích je půdorys a bokorys pracoviště se zakótovanými třemi základními rozměry - výškou, šířkou a hloubkou. Jak je z nich patrné, zadané zástavbové rozměry byly dodrženy.



Obr. 42) Půdorys pracoviště [8]

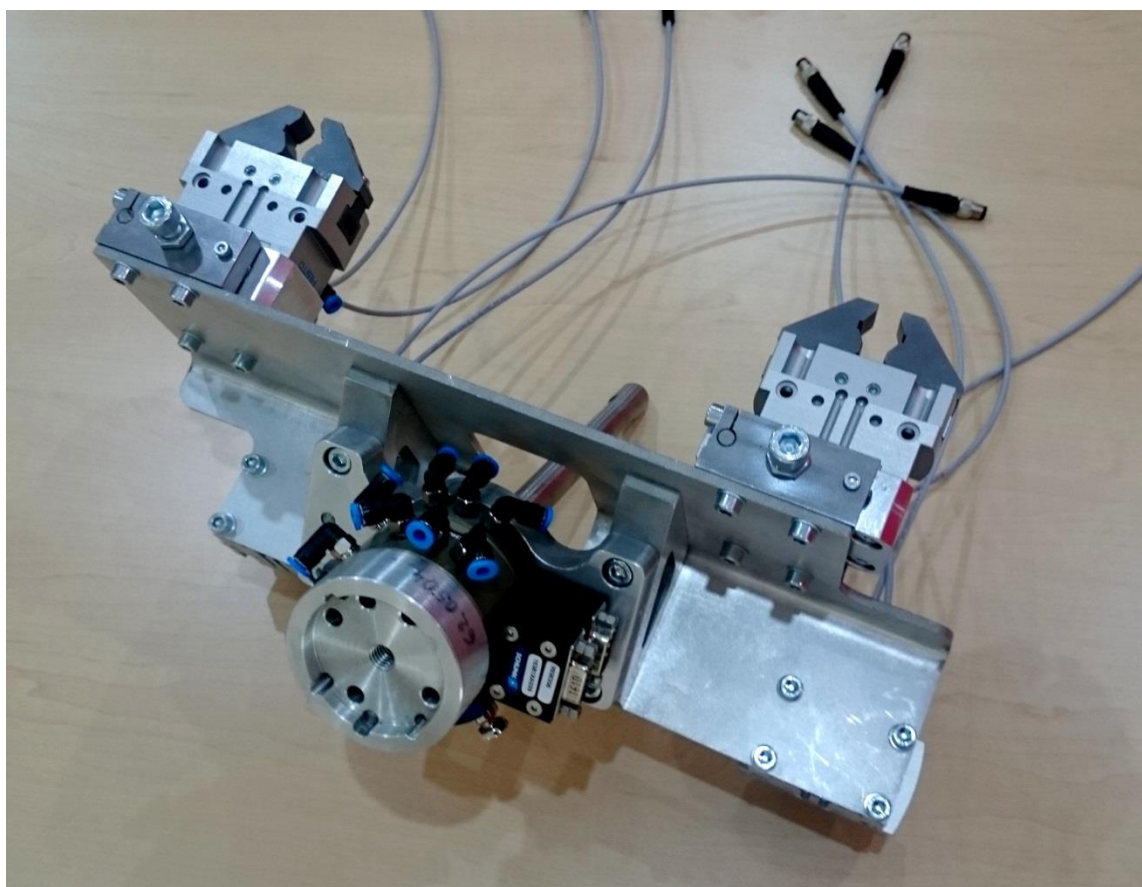


Obr. 43) Bokorys pracoviště [8]



Dalším bodem zadání byla produkce, která byla dle odhadů a výpočtů časů obrábění splněna. Skutečnému času se bude možné více přiblížit po vytvoření programu robotu programátorem z firmy ABB. A reálný čas pak po smontování a uvedení stroje do provozu. Pokud by byl cyklus delší, jak je požadovaný, lze tento čas zkrátit rychlostí upínání a rychlostí a akcelerací robotu a také optimalizací jeho dráhy.

Kapitola 7 se zabývala návrhem koncového efektoru. Byly navrženy dva způsoby provedení efektoru a zvolena vhodná varianta. Tento efektor je již vyrobený i smontovaný. Mechanismus pro kompenzaci pohybu ve směru obrobku je funkční. Fotografie hotového koncového efektoru je na obrázku 44).



Obr. 44) Fotografie hotového koncového efektoru

## 11 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo vytvořit návrh pracoviště tak, aby vyrábělo z daných polotovarů hotové obrobky. Přitom bylo nutné splnit všechny požadavky kladené na pracoviště - zástavbové rozměry, čas cyklu a co největší pružnost při změně typu kusů. Během návrhu bylo také třeba brát ohled na ekonomickou stránku projektu a nenavrhovat nepřiměřeně nákladná řešení. Dalším cílem práce bylo vytvoření koncového efektoru pro 6tiosý robot, který má v pracovišti manipulační úlohu.

Všechny tyto požadavky byly v rámci práce splněny.

Pracoviště se skládá z jednoúčelového dvou-vřetenového soustružicího stroje, který zároveň obrábí dva kusy, robotické manipulace a vstupního a výstupního skluzu.

Koncepce stroje byla navržena tak, aby byl stroj schopen vyrobit obrobky dle zadání. Byl vytvořen pracovní plán, který bude základem pro technologický program. Dle pracovního plánu byly navrženy zdvihy pracovních posuvů, které byly zadány do výpočtového programu, a byly navrženy lineární rotační osy. Rotační osy na vřetenech byly vypočítány stejným programem, vstupní hodnoty byly navrženy dle prováděných operací - soustružení a zapichování na zadaném polotovaru.

Výstupem tohoto výpočtového programu byl i výpočet časů obrábění. Čas pro robotickou manipulaci byl odhadnut na základě zkušeností pracovníků firmy. Bližší odhad bude možný po vytvoření simulace dráhy robotu jeho programátorem. Z těchto časů byl vytvořen odhad trvání cyklu. Dle tohoto odhadu bude čas cyklu splněn.

Povolené zástavbové rozměry byly rovněž dodrženy.

Dalším cílem této práce bylo vytvoření manipulačního koncového efektoru pro 6tiosý robot. Efektor musí dokázat uchopit zároveň 4 obrobky, musí obsahovat výměnný adaptér pro rychlou výměnu efektoru při změně obrobků a kalibrační trn pro kalibraci robotu. Dále musel obsahovat mechanismus pro kompenzaci pohybu obrobku při upínání do stroje. Všechny tyto body byly splněny a koncový efektor byl již vyroben a smontován. Mechanismus pro kompenzaci pohybů je funkční.

Součástí práce bylo také vytvoření pneumatického schématu efektoru, navržení bezpečnostních opatření v průběhu tvorby pracoviště a popsat zapnutí stroje a jeho spuštění v automatickém cyklu, dále popsat jeho vypnutí, jak běžné, tak nouzové.

## 12 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] RIA - *Robotics online: Industrial robot automation* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <https://www.robotics.org/>
- [2] MAREK, Jiří. *Konstrukce CNC obráběcích strojů III*. Praha: MM publishing, 2014. MM speciál. ISBN 978-802-6067-801.
- [3] Sandvik Coromant [online]. [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/pages/default.aspx>
- [4] KSK *Precise Motion* [online]. [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.ksk-pm.cz/>
- [5] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTIUM, 2016. ISBN 978-802-1448-285.
- [6] Festo [online]. [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: [https://www.festo.com/cms/cs\\_cz/index.htm](https://www.festo.com/cms/cs_cz/index.htm)
- [7] WOLF, A., STEINMANN, R., SCHUNK, H. *Grippers in motion: The fascination of Automated Handling Tasks*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2005, 248 s. ISBN 3-540-25657-1
- [8] dokumentace firmy Balák
- [9] ABB [online]. [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: [http://new.abb.com/products/robotics/cs?gclid=CjwKEAajw6e\\_IBRDvorfv2Ku79jMSJAAuiv9YGnwanna0W8iZlb62Oy7Z6oHFZ268tbtNPP4rl7JzKVhoCCtnw\\_wcB](http://new.abb.com/products/robotics/cs?gclid=CjwKEAajw6e_IBRDvorfv2Ku79jMSJAAuiv9YGnwanna0W8iZlb62Oy7Z6oHFZ268tbtNPP4rl7JzKVhoCCtnw_wcB)
- [10] Euchner [online]. [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.euchner.cz/>
- [11] Schnuk [online]. [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: [https://cz.schunk.com/cz\\_en/homepage/](https://cz.schunk.com/cz_en/homepage/)





# 13 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

## 13.1 Seznam tabulek

TAB 1) TABULKA VOLBY ROBOTU .....	25
TAB 2) TABULKA VSTUPNÍCH HODNOT PRO ZAPICHOVÁNÍ [3] .....	29
TAB 3) TABULKA VSTUPNÍCH HODNOT PRO SOUSTRUŽENÍ [3] .....	30
TAB 4) TABULKA VÝSTUPNÍCH HODNOT PRO ZAPICHOVÁNÍ [3] .....	31
TAB 5) TABULKA VÝSTUPNÍCH HODNOT PRO SOUSTRUŽENÍ [3] .....	31
TABULKA VSTUPNÍCH HODNOT PRO PODÉLNÝ SUPORT[3] .....	33
TAB 6) TABULKA VSTUPNÍCH HODNOT PRO PŘÍČNÝ SUPORT[3] .....	33
TAB 7) TABULKA VÝSTUPNÍCH HODNOT PRO PODÉLNÝ SUPORT [2] .....	34
TAB 8) TABULKA VÝSTUPNÍCH HODNOT PRO PŘÍČNÝ SUPORT [3] .....	35
TAB 9) VZORCE PRO VÝPOČET PŘÍTLAČNÉ SÍLY NA CHAPADLO [7] .....	44
TAB 10) VÝSLEDKY VÝPOČTU PŘÍTLAČNÉ SÍLY CHAPADLA .....	44

## 13.2 Seznam obrázků

OBR. 1) POLOTOVAR ČEPU .....	15
OBR. 2) HOTOVÝ OBROBEK .....	15
OBR. 3) ZADANÉ ROZMĚRY .....	16
OBR. 4) LAYOUT PRACOVIŠTĚ .....	18
OBR. 5) SCHEMATICKÝ NÁVRH PRACOVNÍHO PROSTORU STROJE.....	20
OBR. 6) SCHÉMA PRACOVNÍHO PROSTORU STROJE S NAZNAČENÝMI SMĚRY LINEÁRNÍCH POHYBŮ .....	21
OBR. 7) NÁVRH PRACOVIŠTĚ A) PŮDORYS S JEDNÍM 6TIOSÝM ROBOTEM, B) PŮDORYS SE DVĚMA SCARA ROBOTY, C) BOKORYS S JEDNÍM ROBOTEM 6TIOSÝM ROBOTEM, D) BOKORYS SE DVĚMA SCARA ROBOTY.....	23
OBR. 8) PRACOVNÍ PLÁN .....	27
OBR. 9) ČASOVÝ DIAGRAM.....	28
OBR. 10)SCHÉMA ZAPICHOVÁNÍ - PŘEPRACOVANÉ [3] .....	30
OBR. 11)SCHÉMA SOUSTRUŽENÍ - PŘEPRACOVANÉ [3] .....	31
OBR. 12)SCHÉMA SUPORTU S KŠM - PŘEPRACOVANÉ[3].....	34
OBR. 13)MOŽNOSTI ULOŽENÍ KŠ [3] .....	36
OBR. 14)VZDÁLENOSTI PRO URČENÍ CHAPADLA .....	42
OBR. 15)TABULKA VÝSLEDKŮ SOFTWARE FESTO [6].....	43

OBR. 16)PNEUMATICKÉ PARALELNÍ CHAPADLO HGPT-B FIRMY FESTO: A) CHAPADLO, B) CHAPADLO S VNĚJŠÍMI ČELISTMI, C) ŘEZ CHAPADLEM: 1 – ČELISTI Z TVRZENÉ OCELI, 2 – POUZDRO Z HLINÍKOVÉ SLITINY, 3 - HLINÍKOVÝ PÍST [6] .....	43
OBR. 17)MONTÁŽ CHAPADLA, 1 – MONTÁŽNÍ ŠROUBY, 2 – CENTRAČNÍ KOLÍKY[6].....	45
OBR. 18)OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI UCHOPOVÁNÍ: A) CHAPADLO V OTEVŘENÉM STAVU, B) CHAPADLO V SEVŘENÉM STAVU .....	45
OBR. 19)ŘEZ MECHANISMEM UMOŽŇUJÍCÍM POHYB CHAPADLA VE SMĚRU OSY OBROBKU [8].....	46
OBR. 20)CHAPADLO S MECHANISMEM UMOŽŇUJÍCÍM KOMPENZOVAT POHYB OBROBKU [8] .....	47
OBR. 21)VÝMĚNNÝ ADAPTÉR SCHUNK S ELEKTRICKÝMI MODULY SCHUNK A NÁSTRČNÝM ŠROUBENÍM FESTO [8, 11].....	48
OBR. 22)ADAPTÉR PRO PŘIPOJENÍ VÝMĚNNÉHO ADAPTÉRU K ROBOTU [8]	48
OBR. 23)DESKA PRO PŘIPOJENÍ VÝMĚNNÉHO ADAPTÉRU KE KONCOVÉMU EFEKTORU [8] .....	49
OBR. 24)MODEL SESTAVY [8] .....	50
OBR. 25)ŘEZ SESTAVOU [8] .....	50
OBR. 26)NOSNÁ DESKA - VARIANTA 1 [8] .....	51
OBR. 27)NOSNÁ DESKA S CHAPADLY - VARIANTA 1 [8] .....	52
OBR. 28)NOSNÁ DESKA - VARIANTA 2 [8] .....	53
OBR. 29)NOSNÁ DESKA S CHAPADLY [8] .....	54
OBR. 30)CELKOVÁ SESTAVA KONCOVÉHO EFEKTORU [8] .....	55
OBR. 31)MODEL KONCOVÉHO EFEKTORU S OBROBKY [8] .....	56
OBR. 32)PNEUMATICKÉ SCHÉMA KONCOVÉHO EFEKTORU ROBOTU VYTVOŘENÉHO V PROGRAMU FLUIDDRAW FIRMY FESTO[6, 8] .....	57
OBR. 33)PRŮMYSLOVÝ ROBOT ABB IRB 1600 [9] .....	58
OBR. 34)VYLOŽENÍ ZE VSTUPNÍHO SKLUZU [8].....	59
OBR. 35)ZALOŽENÍ DO STROJE [8] .....	59
OBR. 36)VYLOŽENÍ DO VÝSTUPNÍHO SKLUZU [8] .....	59
OBR. 37)OPLOCENÍ PRACOVÍŠTĚ [8] .....	60
OBR. 38)SKLUZ A) VSTUPNÍ BEZ KRYTOVÁNÍ, B) VSTUPNÍ S KRYTOVÁNÍM, C) VÝSTUPNÍ BEZ KRYTOVÁNÍ, D) VÝSTUPNÍ S KRYTOVÁNÍM [8] .....	61
OBR. 39)BEZPEČNOSTNÍ ZÁMEK FIRMY EUCHNER [8, 10] .....	62
OBR. 40)KABINA STROJE [8] .....	63
OBR. 41)SESTAVA PRACOVÍŠTĚ [8].....	65
OBR. 42)PŮDORYS PRACOVÍŠTĚ [8] .....	66

OBR. 43) BOKORYS PRACOVIŠTĚ [8] .....	66
OBR. 44) FOTOGRAFIE HOTOVÉHO KONCOVÉHO EFEKTORU .....	67